

RAQUEL PINHEIRO POMPEO

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO
EFLUENTE DA ETE MARTINÓPOLIS - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS
(PR)**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental, Curso de Pós- graduação em
Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antunes
Nolasco**

**CURITIBA
2007**



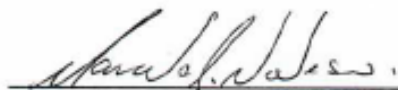
TERMO DE APROVAÇÃO

RAQUEL PINHEIRO POMPEO

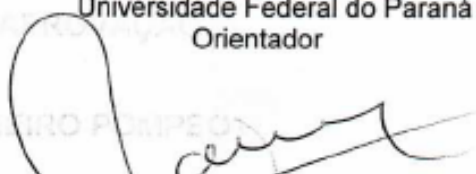
“AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA ETE MARTINÓPOLIS - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS – PR”

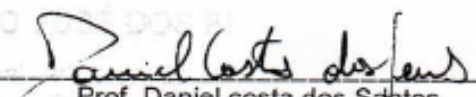
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:


Marcelo Antunes Nolasco
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:


Prof. Pedro Caetano Sanches Mancuso
Universidade de São Paulo


Prof. Daniel Costa dos Santos
Universidade Federal do Paraná


Prof. Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 13 de junho de 2007

Pompeo, Raquel Pinheiro

Avaliação técnica e econômica da utilização do efluente da ETE
Martinópolis – São José dos Pinhais - PR / Raquel Pinheiro Pompeo.
— Curitiba, 2007.

xiv, 176 f.: il., tab., mapa

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de
Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Marcelo Antunes Nolasco

1. Águas residuais – São José dos Pinhais (PR). I. Nolasco,
Marcelo Antunes. II. Título.

CDD 22 628.3

*Aos meus filhos Leopoldo e Heloisa,
com amor.*

AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente do Programa de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, pelo privilégio do compartilhamento de conhecimentos.

Ao LABEAM, em especial a Cristiane do Rocio Antunes pelo auxílio nas análises laboratoriais e à Professora Maria Cristina Borba Braga.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Aos funcionários da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, em especial ao Murilo Duma e Eng^a. Leura pelo fornecimento de dados da ETE Martinópolis.

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Antunes Nolasco pela dedicação e firmeza na condução deste trabalho.

Ao Eng^o. Enéas Machado pelo importante material gentilmente cedido.

Ao Eng^o Waldir Micheletti pelo auxílio prestado nas visitas de campo.

Ao amigo José Carlos Branco, por me acompanhar nas campanhas de amostragem e a minha amiga Simone Bichara.

Aos meus amigos do mestrado Yatsen, Samuel e Marisa, e em especial as minhas grandes amigas Adriana Malinowski e Adriana Carneiro pela ajuda e companheirismo.

A minha irmã Simone, pela preciosa ajuda na revisão deste trabalho.

Aos meus irmãos Roberto e Cynthia, pelo apoio e incentivo.

A minha mãe Arlete e meu pai Roberto pelo carinho, paciência e força para a conclusão deste trabalho.

Ao CNPq/Fundo Setorial CT-Hidro pela Bolsa de Mestrado concedida.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE TABELAS | IX |
| LISTA DE FIGURAS..... | XIII |
| LISTA DE FIGURAS..... | XIII |
| LISTA DE SIGLAS | XV |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2 ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DO REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA | 8 |
| 2.1 INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2.1.1 Objetivos..... | 10 |
| 2.1.1.1 Objetivo Geral | 10 |
| 2.1.1.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 11 |
| 2.2.1 Histórico..... | 11 |
| 2.2.2 Experiências de Reúso Agrícola | 12 |
| 2.2.3 Irrigação | 16 |
| 2.2.4 Aspectos Ambientais e de Saúde Pública Relacionados ao Reúso de Água | 19 |
| 2.2.5 Diretrizes e Critérios de Utilização de Efluentes para Irrigação | 29 |
| 2.2.6 Aspectos Econômicos do Reúso de Água | 39 |
| 2.2.7 Aceitabilidade da Irrigação com Águas Residuárias Tratadas..... | 45 |
| 2.3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 47 |
| 2.3.1 Caracterização da Área de Estudo..... | 48 |
| 2.3.1.1 Caracterização do Setor Agrícola | 48 |
| 2.3.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto Martinópolis | 52 |
| 2.3.1.3 Análise Qualitativa da Água Residuária – Análise dos Dados Fornecidos pela SANEPAR..... | 54 |
| 2.3.1.4 Análise Qualitativa da Água Residuária - Análise de Coliformes, Fósforo e Nitrogênio | 57 |
| 2.3.2 Concepção das Ações de Reúso Agrícola..... | 61 |
| 2.3.2.1 Sistema de Fornecimento de Água de Reúso | 61 |
| 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 65 |
| 2.4.1 Da Caracterização da ETE Martinópolis..... | 65 |
| 2.4.1.1 Da Análise da concentração de Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio e Fósforo na ETE..... | 69 |
| 2.4.2 Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Agrícola | 74 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.4.3 | Avaliação Espacial e Quantitativa do Potencial de reúso dos efluentes da ETE Martinópolis para o setor agrícola..... | 78 |
| 2.4.4 | Das Ações de Reuso | 85 |
| 2.5 | CONCLUSÕES | 89 |
| 3 | ESTUDO DE ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA PARA FINS DE REÚSO URBANO | 91 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 91 |
| 3.1.1 | Objetivos..... | 92 |
| 3.1.1.1 | Objetivo Geral | 92 |
| 3.1.1.2 | Objetivos Específicos | 92 |
| 3.2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 93 |
| 3.2.1 | Experiências no Âmbito do Reúso Urbano | 93 |
| 3.2.2 | Normas e Critérios de Qualidade de Esgotos para Usos Urbanos | 97 |
| 3.2.3 | Aceitabilidade do Reúso de Água..... | 100 |
| 3.2.4 | Tratamento Recomendado para Reúso Urbano | 101 |
| 3.3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 104 |
| 3.3.1 | Caracterização do Setor Urbano – Análise Espacial e Quantitativa | 105 |
| 3.3.2 | Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Urbano..... | 106 |
| 3.3.3 | Concepção das Ações de Reuso Urbano | 106 |
| 3.4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 108 |
| 3.4.1 | Da caracterização do Setor Urbano – Análise Espacial e Quantitativa | 108 |
| 3.4.1.1 | Irrigação Urbana e Lavagem de Ruas..... | 108 |
| 3.4.1.2 | Frota de Veículos da Prefeitura Municipal..... | 111 |
| 3.4.1.3 | Corpo de Bombeiros | 112 |
| 3.4.2 | Análise Qualitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para Uso Urbano | 115 |
| 3.4.3 | Das Ações de Reúso | 117 |
| 3.4.3.1 | Definição dos Requisitos Técnicos..... | 117 |
| 3.4.3.2 | Concepção de Sistema de Distribuição | 119 |
| 3.4.3.3 | Análise Econômica | 120 |
| 3.5 | CONCLUSÕES | 124 |
| 4 | ESTUDO DE ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES PARA FINS INDUSTRIAIS..... | 126 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO..... | 126 |
| 4.1.1 | OBJETIVOS | 128 |
| 4.1.1.1 | Objetivo Geral | 128 |
| 4.1.1.2 | Objetivos Específicos | 128 |
| 4.2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 128 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.2.1 | Exemplos de Reúso Industrial | 131 |
| 4.2.2 | Principais Aspectos a Serem Observados na Qualidade da Água em Sistemas de Torres de Resfriamento..... | 132 |
| 4.2.3 | Diretrizes e Critérios de Utilização de Efluentes para Reúso Industrial 134 | |
| 4.2.4 | Tecnologia Recomendada para Produção de Água de Qualidade Compatível com o Uso Industrial..... | 137 |
| 4.2.5 | Sistemas de Reúso de Água..... | 139 |
| 3.3.8. | Aceitabilidade | 142 |
| 4.3 | MÉTODO | 143 |
| 4.3.1 | Caracterização do Setor Industrial – Análise Espacial e Quantitativa . | 144 |
| 4.3.2 | Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluente da ETE Martinópolis para o Setor Industrial..... | 147 |
| 4.3.3 | Concepção das Ações de Reúso Industrial | 147 |
| 4.4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 148 |
| 4.4.1 | Avaliação Espacial e Quantitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Industrial | 148 |
| 4.4.2 | Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Industrial..... | 153 |
| 4.4.3 | Das Ações de Reúso | 155 |
| 4.5 | CONCLUSÕES | 162 |
| 5 | CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES..... | 163 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 166 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 2.1 – CONSUMO DE ÁGUA PARA DIFERENTES CULTURAS NO PERÍODO ANUAL..... | 17 |
| TABELA 2.2 – TOLERÂNCIA DE ALGUMAS CULTURAS À SALINIDADE DA SOLUÇÃO DO SOLO E QUEDA NO RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ELEVAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO..... | 21 |
| TABELA 2.3 – CONCENTRAÇÕES TÍPICAS DE ORGANISMOS PATOGENICOS E INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO EM ESGOTOS DOMÉSTICOS..... | 24 |
| TABELA 2.4 – EFICIÊNCIA TÍPICA DE REMOÇÃO DE ORGANISMOS PATOGENICOS EM PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS..... | 26 |
| TABELA 2.5 – PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE OS TRÊS SISTEMAS BÁSICOS..... | 28 |
| TABELA 2.6 – COMPOSIÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DE UM EFLUENTE DE LAGOA DE POLIMENTO..... | 29 |
| TABELA 2.7 - PADRÕES DE QUALIDADE PARA ÁGUAS SUPERFICIAIS – RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005..... | 30 |
| TABELA 2.8– QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO PARA IRRIGAÇÃO SEGUNDO WHO(2006)..... | 33 |
| TABELA 2.9 – DIRETRIZES MICROBIOLÓGICAS RECOMENDADAS POR WHO(2006) PARA USO DE ESGOTOS NA AGRICULTURA E MONITORAMENTO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES..... | 34 |
| TABELA 2.10 – LIMITES ESTABELECIDOS PELA WHO (2006) PARA OS NÍVEIS DE ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA DE REÚSO UTILIZADA NA AGRICULTURA..... | 35 |
| TABELA 2.11 - DIRETRIZES SUGERIDAS PELA EPA - 2004 PARA O REÚSO DE ÁGUA..... | 36 |
| TABELA 2.12 – DIRETRIZES PARA REÚSO AGRÍCOLA EM DIVERSOS ESTADOS DOS EUA..... | 37 |
| TABELA 2.13 - PADRÕES PARA ÁGUA DE REÚSO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NA TUNÍSIA..... | 38 |
| TABELA 2.14 - PADRÕES REQUERIDOS PELO MÉXICO PARA REÚSO NA AGRICULTURA - NOM-001-ECOL-1996..... | 39 |
| TABELA 2.15 CUSTOS DE CAPITAL E DE OPERAÇÃO DE DIVERSOS SISTEMAS DE DESINFECÇÃO..... | 43 |
| TABELA 2.16 – CULTURAS, NÚMERO DE PRODUTORES. ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO MÉDIO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS | |

| | |
|---|----|
| PINHAIS NO ANO DE 2005..... | 50 |
| TABELA 2.17 – NÚMERO DE PRODUTORES, ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO DO PLANTIO REFERENTES À OLERICULTURA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NO ANO DE 2005 ... | 51 |
| TABELA 2.18 - NÚMERO DE PRODUTORES, ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO DO PLANTIO REFERENTES À FRUTICULTURA COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NO ANO DE 2005 | 52 |
| TABELA 2.19 - IRRIGAÇÃO E DRENAGEM..... | 52 |
| TABELA 2.20 –CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DAS LAGOAS DA ETE | 54 |
| TABELA 2.21 – VALORES DE DQO E DBO DA ETE MARTINÓPOLIS MONITORADOS EM 2006..... | 55 |
| TABELA 2.22 – VALORES DE SÓLIDOS SUSPENSOS E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DA ETE MARTINÓPOLIS MONITORADOS EM 2006 | 56 |
| TABELA 2.23 – VALORES DE ALCALINIDADE E PH DA ETE MONITORADOS EM 2006..... | 57 |
| TABELA 2.24 - PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA | 62 |
| TABELA 2.25 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS NAS COLETAS 1 E 2 | 69 |
| TABELA 2.26 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS NAS COLETAS 3 E 4 | 69 |
| TABELA 2.27 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO. MÁXIMO, MÍNIMO, AMPLITUDE E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES | 70 |
| TABELA 2.28 – VALORES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO ENCONTRADOS NO EFLUENTE | 71 |
| TABELA 2.29 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO. MÁXIMO, MÍNIMO, AMPLITUDE E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PARA NITROGÊNIO E FÓSFORO ANALISADOS..... | 72 |
| TABELA 2.30 – PARÂMETROS DA ENTRADA E SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS NO ANO DE 2006..... | 74 |
| TABELA 2.31 – ÁREA DE CULTIVO E DEMANDA DE ÁGUA PARA PRODUTORES DE HORTALIÇAS VISITADOS NA REGIÃO | 78 |
| TABELA 2.32 – OCUPAÇÃO DO SOLO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS | 83 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 2.33 – OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO PEQUENO | 84 |
| TABELA 2.34 - ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA AGRÍCOLA E DISTÂNCIA MÉDIA DA ETE AOS RESERVATÓRIOS..... | 85 |
| TABELA 2.35 – CUSTOS ANUAIS LEVANTADOS PARA A AÇÕES DE REÚSO AGRÍCOLA AA01..... | 87 |
| TABELA 2.36 – CUSTOS ANUAIS LEVANTADOS PARA AÇÃO DE REÚSO AGRÍCOLA AA02..... | 87 |
| TABELA 2.37 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÕES AGRÍCOLAS ... | 88 |
| TABELA 2.38 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS POR ADUÇÃO | 88 |
| TABELA 3.1– CRITÉRIOS E DIRETRIZES SUGERIDAS PELA EPA (2004) PARA REÚSO DE ÁGUA URBANO IRRESTRITO | 98 |
| TABELA 3.2- PARÂMETROS DE REÚSO URBANO UTILIZADOS PELA SABESP E CONSIDERAÇÕES PARA SUA ADOÇÃO | 99 |
| TABELA 3.3 - PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA .. | 107 |
| TABELA 3.4 – LOCAIS ONDE É REALIZADA A IRRIGAÇÃO DE CANTEIROS PÚBLICOS E PRAÇAS..... | 108 |
| TABELA 3.5 – TOTAL DE OCORRÊNCIAS, TIPOS DE INCÊNDIO E ÁREA QUEIMADA, OCORRIDOS EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS EM 2006 | 113 |
| TABELA 3.6 - ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA PARA FINS URBANOS | 114 |
| TABELA 3.7 – PARÂMETROS DA ENTRADA E SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS | 115 |
| TABELA 3.8 - CRITÉRIOS ADOTADOS PARA REÚSO URBANO | 116 |
| TABELA 3.9 - EFICIÊNCIA TEÓRICA DAS UNIDADES DE POS- TRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO DA ETE MARTINOPOLIS E QUALIDADE FINAL OBTIDA | 118 |
| TABELA 3.10 – CUSTOS PARA A AÇÃO AU 01 | 121 |
| TABELA 3.11 - CUSTOS PARA A AÇÃO AU 02 | 121 |
| TABELA 3.12 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÕES URBANAS | 123 |
| TABELA 3.13 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS..... | 123 |
| TABELA 4.1 - PRINCIPAIS OPÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 4.2 - DIRETRIZES PARA REÚSO DE ÁGUA INDUSTRIAL (EPA - 2004)..... | 135 |
| TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS DA ÁGUA DE REÚSO PARA FORNECIMENTO PARA SISTEMAS SEMI-ABERTOS DE RESFRIAMENTO E USOS NÃO POTÁVEIS IRRESTRITOS PROPOSTA PELA SABESP (2002) | 136 |
| TABELA 4.4 - PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA ÁGUA DE RESFRIAMENTO ADOTADA NO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ..... | 137 |
| TABELA 4.5 - CRITÉRIOS DE PROJETO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE..... | 141 |
| TABELA 4.6- NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS SEGUNDO AS ATIVIDADES ECONÔMICAS SITUADOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS | 144 |
| TABELA 4.7- FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL E DEMANDA QUANTITATIVA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS | 145 |
| TABELA 4.8 - LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS, ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA E DISTÂNCIA DOS GRUPOS EM RELAÇÃO À ETE | 151 |
| TABELA 4.9 – PARÂMETROS DA SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS (2006) | 153 |
| TABELA 4.10 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ESPECIFICAÇÕES DE QUALIDADE PARA ÁGUA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO DO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ/SP, EPA (2004), SABESP (2002) E A ENCONTRADA NO EFLUENTE DA ETE MARTINÓPOLIS ... | 154 |
| TABELA 4.11 - EFICIÊNCIA TEÓRICA DAS UNIDADES DE POSTRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO DA ETE MARTINÓPOLIS E QUALIDADE FINAL OBTIDA | 156 |
| TABELA 4.12 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 01 | 157 |
| TABELA 4.13 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 02 | 158 |
| TABELA 4.14 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 03 | 158 |
| TABELA 4.15 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÃO INDUSTRIAIS. | 159 |
| TABELA 4.16 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS POR ADUÇÃO | 160 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 2.1 – UNIDADES LOGARÍTMICAS REMOVIDAS DE OVOS DE HELMINTOS, PELO MODELO DE AYRES ET AL(1992) | 27 |
| FIGURA 2.2 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR AGRÍCOLA | 46 |
| FIGURA 2.3 –QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS PROPRIEDADES RURAIS. | 49 |
| FIGURA 2.4 – SISTEMA DE LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS | 53 |
| FIGURA 2.5 – LAGOA ANAERÓBIA- ENTRADA DO EFLUENTE BRUTO | 54 |
| FIGURA 2.6 – VISTA DA LAGOA ANAERÓBIA | 54 |
| FIGURA 2.7 - DIFERENÇA DE COLORAÇÃO NAS AMOSTRAS COLETADAS NAS TRÊS LAGOAS | 59 |
| FIGURA 2.8 –COLETA DE AMOSTRA PARA ANÁLISE DE COLIFORMES E DETALHE DO AMOSTRADOR..... | 59 |
| FIGURA 2.9 -PROCESSO DE ANÁLISE DE NITROGÊNIO EM LABORATÓRIO - A | 60 |
| FIGURA 2.10-PROCESSO DE ANÁLISE DE NITROGÊNIO EM LABORATÓRIO - B | 60 |
| FIGURA 2.11 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS | 70 |
| FIGURA 2.12 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE NITROGÊNIO NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS | 72 |
| FIGURA 2.13 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FÓSFORO NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS | 73 |
| FIGURA 2.14 - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO PEQUENO E LOCALIZAÇÃO DOS AGRICULTORES ENTREVISTADOS | 80 |
| FIGURA 3.1 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR LIVRE | 100 |
| FIGURA 3.2 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR VIÁRIO..... | 101 |
| FIGURA 3.3– MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS E PRAÇAS ONDE HÁ IRRIGAÇÃO NO MUNICÍPIO | 109 |
| FIGURA 3.4 - CAMINHÃO-PIPA UTILIZADO NA LIMPEZA PÚBLICA DO MUNICÍPIO | 110 |
| FIGURA 4.1– TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6 | 138 |
| FIGURA 4.2 – TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6 – PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA COTIA..... | 139 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 4.3- ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA OS SETOR INDUSTRIAL.. | 142 |
| FIGURA 4.4 – MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS POTENCIAIS DE REÚSO NO MUNICÍPIO..... | 152 |

LISTA DE SIGLAS

| | | |
|-----------------|---|---|
| AA | – | Ação Agrícola |
| AI | – | Ação Industrial |
| APA | – | Área de Preservação Ambiental |
| AU | – | Ação Urbana |
| C | – | Capacidade do Caminhão |
| Ckm | – | Custo por km rodado |
| Cnf | – | Custo da hora trabalhada para n funcionários |
| CNRH | – | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| COMEC | – | Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba |
| CONAMA | – | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COT | – | Carbono Orgânico Total |
| CR i | – | Centro de Reservação |
| CT | – | Coliformes Totais |
| CTT | – | Coliformes Termotolerantes |
| D | – | Distância da ETE ao reservatório |
| DBO | – | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DEMLURB | – | Departamento Municipal de Limpeza Urbana |
| DQO | – | Demanda Química de Oxigênio |
| Dm | – | Dias trabalhados por mês |
| EC _w | – | Condutividade Elétrica |
| EE | – | Estação Elevatória |
| EMBRAPA | – | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EPA | – | Environmental Protection Agency |
| ETA | – | Estação de Tratamento de Água |
| ETE | – | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FE | – | Fator de eficiência |
| FRC | – | Fator de Recuperação do Capital |
| GA | – | Grupo Agrícola |
| GI | – | Grupo Industrial |
| GT Reúso | – | Grupo Técnico de Reúso de Água |
| GU | – | Grupo Urbano |
| H _t | – | Horas de funcionamento dos carros |
| i | – | Taxa anual de juros (%) |
| IAP | – | Instituto Ambiental do Paraná |
| IA | – | Impacto Ambiental |
| IDU | – | Instituto de Desenvolvimento Urbano de São José dos Pinhais |
| IPARDES | – | Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico |

| | | |
|--------------|---|---|
| kmd | – | km rodados por dia |
| LABEAM | – | Laboratório Prof. Francisco Borsari Netto |
| LM1 | – | Lagoa de Maturação 1 |
| LM2 | – | Lagoa de Maturação 2 |
| LM3 | – | Lagoa de Maturação 3 |
| MUG | – | 4 - Methyl-umbelliferyl- β -D-glucuronide |
| Nf | – | Número de funcionários no caminhão |
| NMP | – | Número Mais Provável |
| NTK | – | Nitrogênio Total Kjeldahl |
| $N^{\circ}v$ | – | Nº de viagens do caminhão por semana |
| OD | – | Oxigênio Dissolvido |
| OMS | – | Organização Mundial de Saúde |
| ONPG | – | Ortho-nitrophenyl- β -D-galactopyranoside |
| ONU | – | Organização das Nações Unidas |
| PDI | – | Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de |
| PGUAE | – | Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações |
| pH | – | Potencial Hidrogeniônico |
| PMC | – | Prefeitura Municipal de Curitiba |
| PNRH | – | Programa Nacional de Recursos Hídricos |
| PST | – | Porcentagem de Sódio Trocável |
| PT | – | Fósforo Total |
| PURA | – | Programa de Uso Racional da Água |
| Q | – | Vazão |
| Q_{dep} | – | Vazão diária por caminhão-pipa |
| RA | – | Risco Ambiental |
| RAS | – | Relação de Absorção de Sódio |
| RC | – | Relação de Consistência |
| RMC | – | Região Metropolitana de Curitiba |
| RMSP | – | Região Metropolitana de São Paulo |
| RSC | – | Risco Sanitário (Contato) |
| RSI | – | Risco Sanitário (Ingestão) |
| SAAP | – | Sistema de Abastecimento de Água Potável |
| SABESP | – | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SANEPAR | – | Companhia de Saneamento do Paraná |
| SEAB | – | Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná |
| SNIS | – | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SS | – | Sólidos Sedimentáveis |
| SDT | – | Sólidos Dissolvidos Totais |
| SST | – | Sólidos Suspensos Totais |

| | | |
|----------|---|---|
| SUDERHSA | – | Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental |
| UASB | – | Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors) |
| UNESCO | – | Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura |
| USEPA | – | United States Environmental Protection Agency |
| t_c | | Tempo de ciclo = $t_{\text{fixo}} + t_{\text{variável}}$ |
| TDH | – | Tempo de Detenção Hidráulica |
| THM | – | Trihalometanos |
| TSD | – | Tecnologia dos Substratos Definidos |
| UFRN | – | Universidade Federal do Rio Grande do Norte |
| UNILIVRE | – | Universidade Livre do Meio Ambiente |
| UTP | – | Unidade Territorial de Planejamento |

Resumo

Os recursos hídricos estão sendo comprometidos pelas atividades urbana, industrial e agrícola e por desequilíbrios ambientais resultantes do desmatamento e uso indevido do solo. A cada dia cresce a disputa entre os setores da agricultura, indústria e abastecimento humano, que tradicionalmente competem pelo uso da água, gerando sérios conflitos entre os usuários. Diante desse contexto, a proposta básica deste trabalho é analisar técnica e economicamente a implementação de um sistema de utilização de águas residuárias tratadas para fins urbanos não-potáveis em São José dos Pinhais. A região já tem apresentado níveis críticos de disponibilidade hídrica, principalmente em épocas de estiagem. Foi prevista a concepção de diversas ações de reúso que atendem a relação oferta-demanda. Para tanto, foi caracterizado qualitativamente e quantitativamente o esgoto efluente da ETE Martinópolis. Como complemento à caracterização do esgoto, foi realizada a análise de coliformes termotolerantes, coliformes totais, nitrogênio e fósforo em laboratório. Foram configuradas e traçadas ações exclusivas e localizadas as unidades agrícolas, industriais e urbanas. Foi desenvolvida uma análise econômica, considerando os custos de operação e de manutenção para cada ação estabelecida. No que diz respeito à qualidade do efluente, o da ETE Martinópolis é predominantemente doméstico e o sistema de tratamento ao qual o efluente é submetido, lagoas de estabilização, caracteriza a água com padrões de qualidade compatíveis com a utilização na agricultura. Para a utilização no setor urbano e industrial há a necessidade de tratamentos adicionais para adequar o efluente ao grau de qualidade requerido. Na caracterização dos usuários, agrícola, urbano e industrial, o setor agrícola se mostrou o mais qualificado em relação oferta/demanda, pois a demanda pelo setor absorveria toda a oferta de efluentes e em relação a necessidade de água esse setor é o mais prejudicado. A localização da ETE Martinópolis, numa região predominantemente agrícola no município, também contribui para o potencial de reúso desse setor. O trabalho aponta que o transporte de água de reúso por caminhões-pipa frente a distribuição por rede dupla é maior em relação aos custos, sendo a distribuição por caminhão-pipa mais viável tanto economicamente quanto em termos práticos e de segurança. A distribuição através de caminhões-pipa pode ser implementada a curto-prazo, já a distribuição através de rede dupla requer implantação de infraestrutura que pode demorar anos. Enquanto o reúso agrícola requer tratamento secundário com preservação dos nutrientes, não sendo necessário tratamento adicional para o efluente para este fim, o reúso industrial exige tratamento terciário com remoção dos nutrientes, sendo que o tratamento em nível terciário tem um custo muito mais elevado. Os resultados obtidos apontam a viabilidade técnica para a reutilização do efluente da ETE Martinópolis nos setores urbano e industrial, sendo necessário adequar o efluente aos critérios recomendados de qualidade através de pós-tratamento. Entretanto, a ação que se mostrou mais viável tecnicamente e economicamente foi relacionada ao reúso agrícola na bacia do Rio Pequeno.

Palavras-chave: São José dos Pinhais, reúso de água, águas residuárias, reúso urbano, irrigação, custos.

Abstract

Water resources have been compromised by urban, industrial and agricultural activities, as well as by environmental unbalances caused by deforestation and improper land use. The disputes among the agricultural, industrial and supply sectors – which normally compete for the use of water – increase on a daily basis, generating serious conflicts among the users. Given the aforementioned context, the present work essentially proposes to appraise the technical and economic viabilities of the implementation of a treated wastewater reuse system for non-potable urban purposes in the municipality of São José dos Pinhais, Brazil. The availability of hydrological resources in the region has already reached critical levels, particularly during drought seasons. The conception of several water reuse actions intended to meet the offer and demand relation was then envisaged. For such purpose, the effluent sewage from Martinópolis Wastewater Treatment Plant was quantitatively and qualitatively analysed. The analysis of the wastewater, faecal and total coliforms was carried out in a laboratory, as well as the nitrogen and phosphorus contents. Specific actions were next devised, once the agricultural, industrial and urban units had been designated and located. The economic viability was then developed considering operational and maintenance costs for each established action. The Martinópolis Effluent Treatment Plant, is predominantly domestic, and the water treatment system to which the effluent is treated, stabilising pools, characterises the water with the compatible quality patterns used in agriculture. In the urban and industrial sectors there is a greater need for additional treatment so that the effluent reaches a level of quality that is required for its use. In characterising the users as agricultural, urban and industrial, the agricultural sector has shown the greater qualification in relation to the offer/demand process, for the demand in this sector would absorb all effluent offers, and as for the water need in this sector, it has been the most damaged. The Martinópolis location, in a predominantly agricultural municipal region has also contributed to the potential reuse in this sector. The use of water trucks to transport treated wastewater as a means of water distribution, has a greater cost than the dual-system distribution, being the former both economical and a viable solution, as well as the most practical and safe. This can be implemented in the short-term and the dual-system distribution requires a bigger infrastructure, one that could take years to accomplish. The agricultural reuse requires secondary treatment of the effluent so that the nutrients are preserved, the industrial one requires a tertiary treatment to deal with the removal of these nutrients, and this level of treatment has a higher cost. The obtained results express the technical viability for the reuse of effluents from Martinópolis Wastewater Treatment Plant in the urban and industrial sectors, being thus necessary to adequate the effluent to the recommended quality criteria by means of a post-treatment phase. Nevertheless, the action that has proven to be the most viable, both technically and economically, was the one regarding the reuse of the water in agricultural areas within the Pequeno River watershed.

Key-words: São José dos Pinhais, water reuse, wastewater, urban reuse, irrigation, costs for wastewater.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da população mundial e conseqüentemente o acréscimo da demanda por água potável potencializam o consumo de recursos naturais de um modo geral, mas a água tem uma importância vital para o desenvolvimento humano. Conflitos e disputas por esse recurso entre os diversos segmentos da sociedade tendem a surgir e se intensificar.

Para minimizar a crise da água, várias alternativas têm sido buscadas através do desenvolvimento de técnicas, estudos, projetos e medidas que visem a proteção e conservação da qualidade das águas.

O reúso de águas em atividades que não exijam grau de qualidade elevado é uma forma de minimizar o problema da escassez desse recurso natural, disponibilizando água de maior qualidade para fins realmente necessários. A utilização de águas residuárias em atividades como agricultura, indústria, limpeza pública, aquicultura, entre outras, constitui uma importante fonte alternativa de água. Diversos países vêm reutilizando água e aprimorando técnicas de reúso com êxito.

Determinadas regiões do País já sofrem com a escassez da água, seja devido a condições climáticas adversas, como a região nordeste, ou pela distribuição desigual da água. A maior parte da água doce disponível encontra-se na Região Amazônica, que possui 9.6% dos 12% disponíveis e atende cerca de 5% da população, enquanto os 2,4% restantes atendem 95% da população brasileira (REBOUÇAS, 2002).

HESPANHOL (2003), destaca a importância de institucionalizar, regulamentar e promover o reúso de água no Brasil, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, que seja economicamente viável, socialmente aceita e segura, em termos de preservação ambiental e de proteção dos grupos de riscos envolvidos.

A escassez de água potável, a demanda por água superando a quantidade disponível em diversas regiões, a contaminação das bacias por rejeitos domésticos e industriais, o aumento da população global e a supressão de cobertura vegetal apontam para um cenário de crise mundial.

Segundo a EPA (2004), o modo mais utilizado para avaliar a disponibilidade de água é o índice de estresse de água (**water stress index**), medido como o volume de recursos hídricos renováveis anuais *per capita* disponíveis para atendimento das necessidades nos usos domésticos, industriais e agrícolas. O índice de 1.700 m³ /*per capita*/ano foi proposto, a partir da experiência de estresse hídrico em cidades de zonas áridas, como o mínimo valor em que pode haver impedimento do desenvolvimento e efeitos adversos à saúde humana. Abaixo de 1.000 m³/ *per capita*/ano ocorre escassez crônica de água; abaixo de 500 m³/ *per capita*/ano há estresse hídrico absoluto e 100 m³/ *per capita*/ano é o menor nível de sobrevivência para usos doméstico e comercial.

Já pela classificação da ONU, a disponibilidade de água é abundante para valores acima de 20.000 m³/hab.ano, correta para valores acima de 2.500 m³/hab.ano, pobre quando abaixo de 2.500 m³/ hab. ano e crítica para valores inferiores a 1.500 m³/ hab.ano.

CHRISTOFIDIS (2006), relata no artigo “Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil” que existe no País a necessidade de aperfeiçoar a eficiência no manejo da irrigação, da drenagem agrícola, da otimização do uso dos equipamentos e da efetiva aplicação dos tradicionais instrumentos de gestão da água, além de elevar o índice de área total sob produção em cada safra, para possibilitar o combate à fome e atuar na segurança alimentar em cerca de 30% da área sob domínio de sistemas de irrigação.

O autor ressalta que tais procedimentos possibilitam reverter o quadro de um grupo de cerca de 30 milhões de pessoas no Brasil que se situa na condição de pobreza, com uma renda mensal, por pessoa, inferior a R\$ 80,00. Cerca de 23 milhões pertencem a um outro grupo, em pior situação ainda, de miseráveis, em estado de indigência, que não têm acesso aos alimentos mínimos necessários à manutenção saudável de uma vida produtiva, algo em torno de 2.000 calorias diárias. Metade deste denominado flagelo social encontra-se na região Nordeste, onde a parcela rural representa 70% dos miseráveis.

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC), principalmente durante os períodos de maior estiagem, tem apresentado níveis críticos de disponibilidade hídrica. Mantendo-se a atual taxa de crescimento populacional, industrial e agrícola, a demanda por água tende a crescer, agravando a pressão sobre o recurso hídrico.

Este não é um problema ocasional. A realidade é que no ano de 2006 houve uma crise de disponibilidade de água em Curitiba e RMC. Segundo KLISIEWICZ (2006) no dia 25/08/06 o nível das barragens que abastecem Curitiba e região Metropolitana bateu um novo recorde histórico negativo.

Na represa Piraquara I, o nível do reservatório de abastecimento foi de apenas 41,1%, o que representa 6,12 metros abaixo do considerado normal, sendo que a situação anterior mais crítica aconteceu em 1985, quando o registro marcou 5,8 metros abaixo do vertedouro. Já na barragem do Irai, o pior nível registrado havia sido em 2003, com 2,88 metros abaixo do normal. Entretanto, dia 25/08/06 o volume de água foi de apenas 25,6% do total, com 4,03 metros abaixo no nível normal da represa. Juntas, Irai e Piraquara I, somaram apenas 30% do limite total de água que poderiam armazenar. Na represa do Passaúna, o nível medido foi de 1,12 metro abaixo do normal, o que representa 79,3% da capacidade total, uma situação melhor do que nos outros reservatórios (KLISIEWICZ, E. L, 2006).

No Paraná, até julho de 2006, já havia sido decretado estado de emergência em 42 municípios, com outros 19 municípios também a ponto de serem declarados em situação de emergência pela Defesa Civil em razão da estiagem prolongada (NÓRCIO, 2006).

Segundo ANDREOLI et al. (2000), num cenário de projeção futura de disponibilidade hídrica na RMC, considerando a inexistência de programas efetivos de conservação de mananciais, entre os anos de 2.030 e 2.035 toda a potencialidade das bacias indicadas seriam esgotadas para o crescimento máximo. Entre os anos 2.035 e 2.040, os mananciais disponíveis já estariam no fim para o crescimento mínimo.

HASSLER (2005) afirma que um dos problemas que grandes centros urbanos enfrentarão no futuro será a escassez de água potável em seu território ou nas suas

proximidades. Curitiba pode ser considerada um exemplo, pois se configura atualmente como uma das maiores aglomerações urbanas do País e vem enfrentando há algum tempo a escassez de água potável, fazendo com que esta seja captada em distâncias cada vez maiores para o abastecimento da população.

Neste contexto, o reúso de água vem a ser um instrumento importante na gestão dos recursos hídricos. Ele contribui para a diminuição da pressão das atividades humanas sobre os recursos naturais, visto que a captação de menor volume de água resulta em uma menor geração de resíduos e emissão de poluentes, dando ao meio maior capacidade de recuperação, aumentando a disponibilidade hídrica.

Dada à sua importância na gestão dos recursos hídricos, o reúso, já contemplado na Agenda 21, está previsto no Plano Nacional de Recursos Hídricos de 2006 – PNRH, 2006, inserido no Programa VI: Programa de Usos Múltiplos e Gestão Integrada de Recursos Hídricos, Subprograma VI.2: Gestão da Oferta, Ampliação, Racionalização e Reúso das Disponibilidades Hídricas.

A geração de efluentes e sua descarga em corpos d'água, inclusive em mananciais de abastecimento, aumenta a poluição, diminuindo a qualidade das águas e comprometendo o manancial. Nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, provenientes dos esgotos domésticos e industriais, contribuem para a proliferação de algas, prejudiciais à qualidade da água. Os custos do tratamento da água se tornam mais elevados à medida que sua qualidade é mais baixa, sendo necessária maior quantidade de produtos químicos. O reúso dos efluentes diminui a poluição nos corpos d'água, visto que são recirculados ao invés de descartados no corpo receptor.

O reconhecimento da água como bem natural dotado de valor econômico é um avanço importante para a sua conservação, evoluindo para normas e leis relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Na literatura, a terminologia do reúso da água é bem abrangente, sendo definida por vários autores em classificações baseadas em diferentes aspectos, tais como a maneira como o reúso de água ocorre, a finalidade para a qual se destina e o grau de planejamento.

As definições de reúso condizentes com a legislação Brasileira, que foi promulgada no final do ano de 2005 como a Resolução N° 54, de 28 de novembro de 2005, elaborada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água são apresentadas a seguir:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- Reúso de água: utilização de água residuária;
- Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;
- Distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso;
- Usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

O reúso direto não-potável de água, conforme a resolução, abrange as seguintes modalidades:

- Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação

de projetos de recuperação do meio ambiente;

- Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;
- Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

O reúso indireto de água não foi considerado para efeito desta resolução, visto que toda e qualquer utilização feita das águas superficiais ou subterrâneas a partir de um segundo momento pode ser considerada como reúso indireto, deste modo, sujeitas a leis específicas. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o Reúso Indireto de Água ocorre quando a água, já utilizada, é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos e depois captada a jusante para um novo uso, de forma diluída.

O reúso proporciona significativas vantagens do ponto de vista ambiental, na medida em que reduz a descarga de efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) nos corpos hídricos receptores. Paralelamente, ocorre a recarga dos aquíferos, beneficiados com a melhoria da qualidade da água derivada da depuração dos efluentes através da percolação no solo.

Segundo HESPANHOL (2003), além da necessidade de se desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de drenagem agrícola, águas salobras, esgotos domésticos e industriais, entre outras, constitui um importante e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos.

Baseado nas informações mencionadas verifica-se a necessidade de ampliar os estudos de fontes alternativas de água, a exemplo de esgotos sanitários tratados, sendo objeto deste estudo o município de São José dos Pinhais.

O cenário de adensamento urbano e industrial em São José dos Pinhais e os agravantes sobre os mananciais de abastecimento de água situados na região alertam para a necessidade de se tomar medidas eficazes, que possam contribuir na gestão dos

recursos hídricos. Isto posto, este estudo visa contribuir para a possibilidade da utilização de esgoto tratado no município. Essa área de estudo foi selecionada por representar uma zona de grande fragilidade ambiental da região metropolitana de Curitiba e por abrigar os principais mananciais de água da região.

Neste trabalho foi analisado o uso do efluente oriundo da Estação de Tratamento de Esgotos Martinópolis e seu potencial para utilização na agricultura, em indústrias e em atividades urbanas no seu entorno em termos técnicos e econômicos. Foi avaliada uma alternativa de disponibilidade de água residuária tratada para fins não potáveis, o que conseqüentemente eleva a oferta de água para São José dos Pinhais e região.

Isto posto, esta dissertação foi estruturada em 6 capítulos. O capítulo inicial apresenta uma introdução citando de forma breve a problemática em relação aos recursos hídricos. O capítulo 2 refere-se à análise técnica e econômica do reúso de efluentes da ETE Martinópolis na agricultura do município, sendo inicialmente caracterizado o cenário, ou seja, a área de estudo referente ao município de São José dos Pinhais no entorno da ETE, a caracterização agrícola da área e a caracterização do efluente da ETE. O capítulo 3 trata da avaliação do reúso de efluentes para o setor urbano no município de São José dos Pinhais e o capítulo 4 da avaliação para o setor industrial no entorno da ETE. Para cada possível usuário, fez-se a caracterização em termos de requisitos qualitativos e quantitativos. Foi prevista a concepção de diversas ações de reúso para o atendimento da relação oferta-demanda. Para tanto, foram concebidas as ações e definidas as relações oferta e demanda. Desenvolvida a análise econômica, considerando os custos de operação e de manutenção para cada ação estabelecida. No 5º capítulo são apresentadas as conclusões gerais e recomendações e no capítulo final as referências consultadas

2 ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DO REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA

2.1 INTRODUÇÃO

A utilização de águas residuárias tratadas na irrigação representa uma alternativa promissora na produção de hortaliças de boa qualidade, tanto para suprir a falta de água em épocas de pouca pluviosidade quanto pelo fornecimento de nutrientes às culturas, acarretando uma economia em fertilizantes.

A importância da agricultura irrigada para os seres humanos é devida, principalmente, ao fato da maior parte da população estar concentrada em áreas urbanas. Atualmente cerca de 82% da população brasileira está concentrada nas cidades, implicando numa produção excedente de alimentos nas áreas rurais, inclusive para a exportação. Esta necessidade de produzir mais alimentos gera um aumento no consumo de água para a irrigação, além do aumento no uso de fertilizantes e defensivos agrícolas.

Nesse sentido, tem sido buscado o desenvolvimento de fontes alternativas de água em decorrência do surgimento de conflitos pelo seu uso, como ocorre, por exemplo, na bacia do rio São Francisco, onde as projeções de demanda de água para irrigação e transposição para outras bacias hidrográficas, além da manutenção dos atuais aproveitamentos hidrelétricos, mostram-se preocupantes quanto à disponibilidade de água para outras finalidades. No Sudeste, evidenciam-se os conflitos em torno da utilização das águas dos rios Paraíba do Sul, Piracicaba e Capivari, por exemplo, e no Sul do País, a grande demanda de água para irrigação de arrozais.

Isto posto, o aproveitamento de esgotos sanitários tratados passa a ser uma opção para atender a crescente demanda para agricultura, setor industrial, geração de energia, usos urbanos entre outros. A utilização de águas residuárias tratadas para irrigação é uma prática que está sendo difundida no Brasil e já está estabelecida em diversos países.

BASTOS (2003) salienta que nas três últimas décadas a irrigação com esgotos sanitários tornou-se prática crescente em todo o mundo, nem sempre acompanhada de rígido controle sanitário, impondo sérios riscos à saúde, sendo necessário o conhecimento dos riscos associados à irrigação com esgotos para que ela seja realizada de forma segura.

Segundo HESPANHOL (2003), a utilização de água para a agricultura no Brasil gira em torno de 70% do total consumido atualmente, com estimativa de atingir 80% até o final desta década, aumentando os conflitos de uso que hoje ocorrem em muitas bacias hidrográficas brasileiras, principalmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo. O autor acrescenta ainda que o reúso de água para fins agrícolas tem crescido consideravelmente nos últimos anos, proporcionando diversos benefícios, entre eles:

- contribuição efetiva de nutrientes no solo provenientes de esgoto;
- redução do uso de fertilizantes;
- baixo custo para disposição final de efluentes;
- minimização de descargas de esgotos em rios;
- reconhecimento como uma boa prática de gestão de recursos hídricos.

Esse crescimento ocorreu devido à dificuldade na identificação de fontes alternativas de águas para irrigação, do alto custo de fertilizantes e dos sistemas de tratamento necessários para descarga de efluentes em corpos receptores. O autor destaca também que a segurança dos riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, quando as precauções adequadas são efetivamente tomadas.

Associada a este aproveitamento da água encontra-se a recuperação de substâncias e elementos geralmente presentes nas águas residuárias, alguns dos quais são nutrientes essenciais à vida das plantas, e outros que contribuem para aumentar a fertilidade dos solos, trazendo inclusive benefícios econômicos.

De acordo com OLIVEIRA et al. (2002), a agricultura utiliza grande quantidade de água, sendo que essa atividade pode tolerar águas de qualidade inferior

em relação à necessária na indústria e para uso doméstico. Quando se fala em termos quantitativos, o volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação parece insignificante comparando-a com o total de água utilizada na agricultura irrigada, porém os benefícios são de grande importância econômica, ambiental e social. Isto posto, é inevitável a crescente tendência para encontrar nessa atividade a solução dos problemas relacionados aos efluentes.

OLIVEIRA et al. (2002) e PAGANINI (2003) ressaltam que advinda desses benefícios, a necessidade de planejamento de utilização de águas residuárias é justificada para controlar, em longo prazo, os efeitos de salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos, sobre os solos e as culturas.

A agricultura tem grande potencial de uso de águas residuárias tratadas em virtude da adequação do efluente ao uso, sendo que os critérios para irrigação são muitas vezes compatíveis com a qualidade dos efluentes do tratamento de esgotos por lagoas de estabilização. É neste sentido que se enquadra a reutilização de águas residuais tratadas para o reúso agrícola, tema deste trabalho.

2.1.1 Objetivos

2.1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo teve por finalidade avaliar técnica e economicamente a utilização de águas residuárias tratadas oriundas da Estação de Tratamento de Esgoto Martinópolis, para reúso agrícola, no município de São José dos Pinhais, situado na Região Metropolitana de Curitiba.

2.1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o setor agrícola da região no entorno da ETE.
- Caracterizar quantitativamente e qualitativamente o efluente da ETE Martinópolis
- Avaliar o potencial de aproveitamento de esgoto tratado pelo setor agrícola, no entorno ETE Martinópolis.
- Propor ações de reúso agrícola no entorno da ETE Martinópolis.
- Avaliar economicamente o reúso para as finalidades supra-citadas.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 Histórico

Uma das mais interessantes contribuições da Civilização de Minoan, desenvolvida na Ilha de Creta foi a infra-estrutura hidráulica em sistemas de água e reaproveitamento de águas residuárias nos antigos palácios e cidades. Há indicações de utilização de águas residuárias na agricultura irrigada de pequenas civilizações há aproximadamente 5000 anos (ANGELAKIS et al., 2005).

As primeiras experiências de disposição controlada de esgotos sanitários no solo surgiram no século XIX em alguns países da Europa, tais como Inglaterra, França e Alemanha. Nas “fazendas de esgotos”, como eram conhecidas, ocorria o tratamento dos efluentes, mas a irrigação com fins de produção agrícola não era desestimulada. Porém, em 1912, George W. Müller, em um relatório intitulado “As Fazendas de Esgotos e Irrigação por Inundação”, alertou para o cuidado com a saúde pública no consumo humano de culturas cultivadas nas fazendas de esgotos.

Nos Estados Unidos essa prática aconteceu a partir de 1870. Na França, em 1868, foi implantado um sistema de coleta de esgotos e novecentos hectares foram irrigados com parte dos esgotos de Paris poucos anos depois, sendo que na mesma época a Alemanha irrigava diversas culturas com esgoto tratado (FOLEGATTI et al, 2005).

No início do século XX, as fazendas de esgotos foram então abandonadas nos EUA e na Europa devido à explosão populacional e ao processo de industrialização, que acarretou no aumento do volume de esgoto produzido, inviabilizando o tratamento dos esgotos através de sua disposição no solo, já que não havia maiores extensões de terra disponíveis para esse fim. Além disso, havia muita preocupação com a saúde pública, pois fatores como odores desagradáveis, disseminação de doenças através do consumo de água ou vegetais contaminados afetavam a saúde de trabalhadores e consumidores (SHUVAL, 1985 apud FOLEGATTI et al. 2005).

O desenvolvimento de programas para uso planejado de águas residuárias nos EUA começaram no início do século XX, sendo que o Estado da Califórnia priorizou a recuperação das águas e seu reúso, tendo os primeiros regulamentos promulgados em 1918. Alguns dos primeiros sistemas com essa finalidade foram desenvolvidos para fornecer água para irrigação nos estados do Arizona e da Califórnia em 1920. Em 1960, sistemas para reúso urbano foram desenvolvidos no Colorado e na Flórida.

2.2.2 Experiências de Reúso Agrícola

México

O reúso de água é uma prática difundida no México. O país tem problemas de disponibilidade de água em vista de sua distribuição geográfica, clima, além da contaminação de suas águas.

Segundo ESCALANTE et al (2003) são utilizados aproximadamente 3.563 L/s de efluentes tratados na irrigação, o que equivale a 33% do total tratado. As regiões onde a demanda de água de reúso é mais expressiva são o Estado do México, Querétaro, Baja California Sur, Distrito Federal, Michoacán e Puebla.

Atualmente há ordenamento legal e institucional que garante o desenvolvimento da agricultura sustentável em algumas áreas do país. A Lei Nacional de Águas – Ley Nacional Del Agua, em vigor desde 1993, tem uma seção dedicada especificamente à prevenção e ao controle da contaminação da água. A Norma Técnica Ecológica NOM-001-ECOL-1996 estabelece requisitos para o uso das águas residuárias na agricultura.

O uso agrícola de águas residuárias para irrigação no Vale do Mezquital data do final do século XIX, como consequência das obras de drenagem do Vale do México. Essas águas constituem um recurso valioso e são destinadas a regiões áridas e semi-áridas, cada vez com maior eficiência e segurança para a saúde humana e proteção do meio ambiente. O Vale do Mezquital está situado na bacia vulcânica central do altiplano mexicano, a uma altitude que varia entre 1.700 a 2.100 m acima do nível do mar.

Seu clima é temperado, seco, semi-árido, com chuvas durante o verão. A região metropolitana do vale do México, com uma população de 18 milhões de habitantes, gera 1.660 milhões de m³ de águas residuárias/ano, o que equivale a 53 m³/s. Desse volume, o Vale do Mezquital recebe anualmente cerca de 1.350 milhões de m³ (LÉON e CAVALLINI, 1999).

No Vale do Mezquital, a principal atividade econômica da população é a agricultura, complementada pela criação de gado. De acordo com ALVAREZ (1999), a região apresenta um exemplo único do reúso para a irrigação, devido a grande área cultivada (83.000 ha entre 1993 e 1994) e ao longo tempo de experiência na utilização das águas residuárias para a irrigação.

Na estrutura organizacional implementada no país, os agricultores informam suas demandas de águas, especificando onde estas serão empregadas. A administração local analisa a solicitação, além de outros elementos correlatos, como a quantidade de água disponível, o cronograma de demanda de água, os cultivos prioritários, as políticas agrícolas e as restrições de cultivos. A aprovação do uso dessas águas também implica a decisão dos agricultores envolvidos (ALVAREZ, 1999).

Em função do histórico do conhecimento do uso das águas residuárias, o Vale do Mezquital apresenta condições para que se execute uma série de estudos com relação à produtividade, contaminação e riscos para a população, de forma a tentar subsidiar as decisões em relação aos usos possíveis destas águas, criando regulamentos e projetos adaptados à sua realidade. Portanto, para melhorar a eficiência do uso das águas residuárias, a fim de proteger a saúde e o meio ambiente, é preciso uma compreensão total das condições sócio-culturais e econômicas locais (ALVAREZ, 1999).

Na visão desse autor, essa compreensão deve resultar em ações e direcionamentos que se apliquem prontamente. Além disto, o Vale do Mezquital apresenta condições ideais para estudos de campo, cujos resultados poderiam ser estendidos por toda região.

Como exemplo de reúso planejado, o vale do Mezquital utiliza um volume de

1.356 milhões de metros cúbicos de esgotos tratados por ano, o equivalente a 43 m³/s, sobre uma área de 70.000 hectares, nas quais estão assentadas 45.000 famílias de agricultores que cultivam principalmente milho e alfafa e, em menor proporção, aveia, cevada, feijão, trigo, cabaça, pimentão, tomate, entre outros (LÉON e CAVALLINI, 1999).

Segundo GALAN (2006), depois da China, o México é o país que mais utiliza águas residuárias na agricultura a nível mundial. No país, 83% do efluente recuperado é utilizado na irrigação, 10 % em atividades urbanas e 7% no setor industrial. As informações foram baseadas nos estudos da pesquisadora Blanca Jimenez.

Israel

Israel foi pioneiro em utilizar água de reúso na irrigação, seguido por Tunísia, Chipre e Jordânia (ANGELAKIS e BONTUUX, 2001).

No país está sendo reutilizado mais de 60% do volume total de águas das redes de esgotos urbanos. O projeto da região de Dan demonstra a possibilidade de converter o deserto de Negev em uma área fértil e produtiva para a agricultura, através do aproveitamento das águas residuárias. A reutilização dessas águas em escala nacional, a custo relativamente baixo, está possibilitando adiar os grandes investimentos para dessalinização da água do mar, considerado como último recurso de água disponível em Israel. As águas residuárias são tratadas para irrigar lavouras e jardins públicos, além de revitalizar os rios (VOMERO et al., 2000).

Tunísia

O reúso na Tunísia mostra-se prioritário na gestão dos recursos hídricos em função da escassez de água e do aumento da poluição (BAHRI, 1998). Os programas de reúso no país remontam à década de sessenta, o que coloca esta região entre as poucas nações do mediterrâneo que têm uma política federal de reúso em plena atividade.

A responsabilidade pela utilização das águas de reúso na agricultura é dividida entre vários ministérios, são eles: do Interior, do Meio Ambiente, da Agricultura, da

Economia e da Saúde Pública. Nas grandes cidades, a National Sewerage and Sanitation Office (ONAS), a qual é subsidiária do Ministério do Meio Ambiente, é a responsável pela coleta, tratamento e disposição final dos esgotos, incluindo a construção, operação e manutenção de toda a infra-estrutura necessária. O reúso agrícola é regulamentado por leis e por um decreto que prevê uma estrutura legal para o reúso e proíbe a sua utilização para a irrigação de qualquer cultura que possa ser ingerida, além de estipular parâmetros de qualidade das águas de reúso com o intuito de evitar a transmissão de doenças (BAHRI, 1998).

Os padrões de qualidade para as águas de reúso foram estabelecidos no documento legal "Tunisian Standard 106.03" de 1989, o qual apresenta uma lista de culturas para as quais há possibilidade de sua implementação. As especificações visando à proteção dos grupos de risco, como trabalhadores e consumidores, também foram contempladas nesse documento. Os ministérios estão somando esforços para a efetiva implementação deste Decreto (BAHRI, 1998).

África do Sul

Por ser um país que tem problemas com escassez de água, a África do Sul tem grande interesse na utilização de águas residuárias. O país considera as águas provenientes do reúso como um recurso adicional para suprir as necessidades da sua população (ODENDAAL et al 1998). As pesquisas sobre o assunto no país remontam a década de 60 e estão direcionadas no princípio às condições geográficas, uma vez que as maiores cidades estão localizadas longe do mar.

A legislação pertinente prevê o reúso indireto de efluentes, os quais devem ser retornados ao curso d'água de origem, o que impõe um controle tanto no tratamento quanto na descarga dos efluentes. Para tanto, deve haver uma grande integração entre os aspectos de tratamento de efluentes e as políticas de proteção da qualidade das águas (ODENDAAL et al 1998).

Em Porto Elizabeth diariamente cerca de 93 mil m³ de águas residuárias são destinadas ao reúso, tratadas em sistemas de lodos ativados. A água de reúso não é destinada ao consumo, entretanto estima-se que até o ano de 2020 a taxa de água

potável da cidade obtida a partir de águas residuárias chegue a 30% (LEWIN et al, 2002).

Chipre

Na Ilha de Chipre, no ano de 2001, cerca de 16 milhões de m³ de águas residuárias tratadas estavam sendo utilizadas principalmente na cidade de Nicosia, capital do Chipre. As demandas domésticas e industriais são prioritárias frente ao uso agrícola na região e tem aumentado acentuadamente. Este fato motivou o reúso de cerca de 11 milhões de m³ por ano no setor agrícola a fim de liberar volumes de água de fontes convencionais para cobrir as demandas domésticas e industriais, que requerem água de melhor qualidade. Este fato torna a água residuária tratada como a principal fonte de abastecimento para a agricultura no futuro (AEMA, 2001).

2.2.3 Irrigação

A irrigação pode ser definida como a aplicação artificial de água no solo com a finalidade de proporcionar a umidade necessária ao crescimento normal das plantas nele existentes, suprimindo a falta, insuficiência ou má distribuição das chuvas.

Qualquer que seja sua fonte, a avaliação da água utilizada na irrigação das culturas é de importância fundamental, tanto em termos quantitativos quanto em qualitativos. Segundo ROSSINI (2002), na agricultura, a irrigação é necessária para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra. Entretanto, a elevada demanda de água em projetos de irrigação no Brasil exige racionalização no seu uso através de alternativas que proporcionem maior eficiência na sua aplicação.

Os principais métodos de irrigação são: aspersão e aplicação superficial, este compreendendo inundação, canais e sulcos; gotejamento e sub-superficial, tubulações perfuradas ou porosas e cápsulas porosas.

No método de irrigação por aspersão, a água é aplicada sobre a superfície do solo de forma semelhante a chuva, através do fracionamento do jato em gotas que se espalham no ar. Esse fracionamento é obtido pelo fluxo da água sob pressão através de

pequenos orifícios ou bocais. A pressão é comumente obtida pelo bombeamento da água através de canalizações até as estruturas especiais para a pulverização do jato.

Uma das vantagens desse método é o controle da frequência, duração, intensidade e o tamanho das gotas, o que torna o uso da água bem aplicado. É indicado para uma grande variedade de culturas e adaptável a quase todos os tipos de solos, desde que os aspersores apresentem grande diversidade e flexibilidade na capacidade de descarga. Entretanto, a irrigação por aspersão é mais vantajosa para solos de textura mais grossa, pois solos arenosos e franco-arenosos possuem alta capacidade de infiltração d'água, o que causa maior percolação.

Segundo TUNDISI (2003), para a aspersão convencional os valores médios de eficiência dos métodos de irrigação são 0,50 e 0,75 tendo como condicionantes a ação dos ventos e sob ventos leves ou sem eles, respectivamente.

Na Tabela 2.1 encontram-se as estimativas de consumo de água para diversas culturas, sendo que para hortaliças o valor estimado durante um ano é de 10.228 m³/ha.

TABELA 2.1 – CONSUMO DE ÁGUA PARA DIFERENTES CULTURAS NO PERÍODO ANUAL

| CULTURAS | CONSUMO DE ÁGUA (m ³ /ha) |
|--------------|--------------------------------------|
| Algodão | 5.208 |
| Alho | 4.870 |
| Arroz | 19.862 |
| Batata | 6.176 |
| Cebola | 5.348 |
| Feijão | 4.573 |
| Fruticultura | 9.679 |
| Hortaliças | 10.288 |
| Melancia | 11.729 |
| Melão | 11.896 |
| Milho | 6.057 |
| Soja | 2.824 |
| Tomate | 5.900 |
| Trigo | 3.640 |
| Uva | 10.624 |

FONTE: PLANVASF, 1989 apud Lima et al. (1999)

Nas pesquisas desenvolvidas no âmbito do Edital 3 do PROSAB, que resultaram na publicação do trabalho “Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura”, publicado em 2003, procurou-se avaliar a produtividade e qualidade sanitária das culturas irrigadas com esgotos sanitários e os riscos potenciais à saúde quando da irrigação de hortaliças.

Foi pesquisado por LIMA S. et al. (2005) em Lagoa Seca – PB, a irrigação de alface com água de poço em solo sem adubação (1) e com adubação mineral (2), e comparadas em termos de produtividade e qualidade sanitária das alfaces irrigadas com água de poço e solo com adubação orgânica (3), com fertirrigação realizada com efluentes de esgotos domésticos tratados em lagoas de polimento (4) e efluente decantado (5).

Foi analisada a água do poço artesiano utilizada para a irrigação nos tratamentos 1, 2 e 3. Esta análise demonstrou que a concentração de coliformes termotolerantes na água do poço foi similar ao encontrado no efluente das lagoas de polimento, da mesma forma que as concentrações médias de ovos de helmintos nos efluentes das lagoas de polimento e na água de poço foram de 0 ovos/L, confirmando a eficiência das lagoas de polimento na remoção de coliformes e qualidade para uso na agricultura.

As maiores produtividades foram constatadas nos tratamentos com águas de reúso, sendo que para o tratamento (5) a produtividade das alfaces irrigadas foi melhor, entretanto, não alcançou as condições para irrigação irrestrita de WHO. Em seguida foram às alfaces irrigadas com os efluentes do sistema de lagoas de polimento que tiveram maior produtividade e apresentaram concentrações de CT e helmintos dentro das recomendações de WHO (1989) para irrigação irrestrita, diretriz vigente na época.

2.2.4 Aspectos Ambientais e de Saúde Pública Relacionados ao Reúso de Água

Focalizado no Impacto Ambiental, o uso de águas residuárias atua como medida mitigadora da contaminação das águas subterrâneas e superficiais, por meio da redução da demanda por água dos mananciais. O efeito, a diminuição da água captada, deve ser avaliado por seu principal impacto agregado, que é a redução no consumo de energia elétrica necessário para recalque e transporte da água (FELIZATTO, 2001).

Segundo a EPA (1998), o reúso de água gera diversos benefícios ambientais, tais como:

- Diminuição do desvio de água doce dos ecossistemas.

O desvio de água para usos industriais, agrícolas e urbanos causam deterioração da qualidade da água e desequilíbrio nos ecossistemas, pois plantas e animais dependem do fluxo e da qualidade da água para sua reprodução e sobrevivência. Estes setores podem suprir parte de suas demandas com água de reúso, sendo que deixando de captar água dos recursos naturais contribuem com a manutenção do meio-ambiente.

- Diminuição da descarga de efluentes em corpos d'água.

O reúso de água pode suprir ou diminuir a necessidade de captação de água, e eliminar ou diminuir o descarte de efluentes em corpos d'água.

- Redução e Prevenção da Poluição

A diminuição do uso de fertilizantes sintéticos na agricultura, por exemplo, pode ser feita através do aproveitamento dos nutrientes encontrados nos esgotos quando usados na irrigação, de forma a diminuir os impactos que os agrotóxicos causam no meio ambiente.

Os riscos ambientais decorrentes do reúso, segundo a EPA (1998) podem ser divididos em:

- Contaminação do solo

A utilização das águas residuárias no solo pode acarretar o acúmulo de compostos tóxicos e o aumento da salinidade nas camadas insaturadas do solo.

- Contaminação das águas

As águas subterrâneas podem sofrer impactos negativos, vindo a ter sua qualidade alterada, em função do emprego do reúso de forma inadequada.

- Falta de vazão ecológica

O reúso reduz a pressão sobre as águas de melhor qualidade, a medida em que diminui o consumo destas. Entretanto, a redução da vazão de lançamento de efluentes nos corpos hídricos pode acarretar redução da disponibilidade hídrica, comprometendo a vazão ecológica.

- Comprometimento da flora e fauna

A contaminação das águas, bem como do solo, ou a falta de água para manter a vida aquática, acarreta prejuízos à flora e fauna local.

O esgoto doméstico contém elevados teores de sais e de sólidos dissolvidos inorgânicos, resultado da própria dieta humana e da intensa utilização de produtos de limpeza. Dessa forma, a irrigação, a hidroponia ou o cultivo de peixes com esgotos sanitários é essencialmente fertirrigação ou piscicultura com água salina, com condutividade elétrica e teores de cloretos, sódio e sólidos dissolvidos relativamente elevados, devendo, portanto, ser observados todos os cuidados inerentes a tais práticas.

Dependendo das características físicas da água de reúso, podem ocorrer impactos negativos no ambiente em que é usada, como o acúmulo de metais pesados e salinidade no solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas e até a perda de produtividade deste solo. Para PAGANINI (2003), os principais fatores limitantes na disposição de esgotos no solo são: salinidade, metais pesados, microrganismos e lixiviações indesejáveis.

Em relação à água de reúso, as características físicas dos parâmetros de interesse podem incluir pH, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos, mas para a água

ser utilizada para fins de irrigação, a salinidade da água deve ser vista com atenção. O sódio e outras formas de salinidade são as mais persistentes na água reciclada tendo uma remoção difícil, requerendo, geralmente, o uso de resinas catiônicas ou de membranas de osmose reversa.

Na Tabela 2.2 pode-se verificar os valores de algumas culturas à salinidade e queda de rendimento de acordo com o aumento da condutividade no solo.

TABELA 2.2 – TOLERÂNCIA DE ALGUMAS CULTURAS À SALINIDADE DA SOLUÇÃO DO SOLO E QUEDA NO RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ELEVAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

| CULTURA | SALINIDADE LIMIAR (dS m ⁻¹) | TOLERÂNCIA | PRODUTIVIDADE (% REDUÇÃO) |
|--------------------|---|------------------------|---------------------------|
| Abobrinha italiana | 4,7 | tolerância moderada | 9,4 |
| Feijão-fava | 1,5 | sensibilidade moderada | 9,5 |
| Feijão Phaseolus | 1,0 | sensível | 18,9 |
| Milho | 1,7 | sensibilidade moderada | 12,0 |
| Soja | 5,0 | tolerância moderada | 20,0 |
| Abobrinha | 3,2 | sensibilidade moderada | 16,1 |
| Brócolis | 2,8 | sensibilidade moderada | 9,2 |
| Tomateiro | 2,5 | sensibilidade moderada | 9,5 |
| Alface | 1,3 | sensibilidade moderada | 13,0 |
| Ameixeira | 1,5 | sensível | 18,0 |
| Berinjela | 1,1 | sensibilidade moderada | 6,9 |
| Feijão-vagem | 1,0 | sensível | 18,9 |
| Milho doce | 1,7 | sensibilidade moderada | 12,0 |
| Morangueiro | 1,0 | sensível | 33,0 |
| Pessegueiro | 1,7 | sensível | 21,0 |
| Pimentão | 1,5 | sensibilidade moderada | 14,1 |
| Repolho | 1,8 | sensibilidade moderada | 9,8 |
| Videira | 1,5 | sensibilidade moderada | 9,5 |

FONTE: Adaptado MARQUES et al (2003)

A salinidade da água de reúso pode impactar tanto o próprio solo como influenciar o crescimento das plantações irrigadas ao longo do tempo. A presença de sódio pode afetar diretamente as propriedades do solo, com os fenômenos do inchamento e da dispersão. As razões para estas variações são complexas e envolvem propriedades geofísicas do solo, a densidade, o pH, estresses mecânicos e agentes obrigatórios agregados tais como o ferro, óxidos de alumínio e matéria orgânica.

De acordo com ASANO (1998), um dos aspectos mais importantes da salinidade sobre os cultivos é a redução da absorção de água pelas raízes das plantas, pela redução da condutividade hidráulica. De modo geral, a maioria das águas residuárias tratadas não são muito salinas. A taxa de salinidade situa-se entre 200 e 500 mg/L, entretanto, a salinidade é um aspecto que deve ser considerado na tolerância das culturas.

Algumas culturas possuem tolerância à salinidade muito maior do que outras. Desta forma deve-se escolher uma cultura para ser irrigada com água de reúso que seja tolerante ou pelo menos moderadamente tolerante à salinidade, para que se possam manter os rendimentos da mesma a níveis aceitáveis, pois salinidades maiores do que a cultura pode suportar reduzem a taxa de seu crescimento.

A salinidade de uma água é a característica originada pela presença de sais dissolvidos. Pode ser avaliada por diversos parâmetros, dos quais o mais importante é a condutividade elétrica. Os sólidos dissolvidos totais que se dividem em voláteis e fixos são de natureza orgânica ou mineral, e a concentração de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , B^{3+} , por exemplo, dão informação acerca dos tipos de sais que mais contribuem para a salinidade. Na prática, o teste de salinidade é realizado medindo a condutividade elétrica.

O laboratório de salinidade dos EUA classifica os solos quanto à salinidade em função da condutividade elétrica do extrato da saturação (CE), da percentagem de sódio trocável (PST) ou da relação de absorção de sódio (RAS) e do potencial hidrogeniônico (pH).

A salinidade afeta as culturas de duas maneiras:

- Pelo aumento do potencial osmótico do solo. Quanto mais salino for um solo, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e com ela os demais elementos vitais.
- Pela toxidez de determinados elementos, principalmente o sódio, o boro, e os bicarbonatos e cloretos, que em concentrações elevadas causam distúrbios fisiológicos nas plantas.

Os fatores que contribuem para a salinização dos solos são:

- clima - déficit hídrico climático acentuado;
- irrigação em solos rasos ou solos de má drenabilidade;
- irrigação com água de má qualidade – teores elevados de sais;
- baixa eficiência de irrigação;
- manutenção inadequada do sistema de drenagem ou ausência de sistema de drenagem superficial e/ou subterrânea.

A água, ou melhor, a escassez de água é um dos problemas mais graves em relação a saúde pública, e tem se agravado em diversas regiões do planeta. A má qualidade de água e falta de saneamento básico são responsáveis por grande parte de doenças existentes em países subdesenvolvidos.

Na agricultura, o principal risco para a saúde reside na possibilidade de contaminação das plantas irrigadas e do solo pelos microorganismos patogênicos presentes nas águas residuárias. Os microorganismos patogênicos podem atingir o homem seja pelo contato direto com as plantas regadas ou o seu consumo, e ainda através da ingestão de produtos provenientes dos animais, como carne e leite. Problemas de saúde pública podem ocorrer pela acumulação de elementos tóxicos nas plantas, provenientes da irrigação com águas residuárias, sendo o controle sanitário das águas utilizadas para a irrigação fundamental para a saúde pública.

A contaminação por patógenos e por metais pesados em águas superficiais utilizadas para a irrigação de hortaliças, principalmente nos cinturões verdes dos centros urbanos, ocorre freqüentemente. O consumo de hortaliças, principalmente as

consumidas cruas, irrigadas com água contaminada, serve como veículo de transmissão de uma série de doenças aos consumidores, além do acúmulo de elementos nocivos no organismo. Algumas doenças como a esquistossomose podem ser transmitidas por águas com índices relativamente baixos de contaminação fecal. Desta forma o controle sanitário das águas utilizadas para irrigação é de grande importância para a saúde pública (MAROUELLI et al., 2001).

O modo como as pessoas entram em contato com as águas residuárias assume diferentes graus de riscos sanitários, refletindo nos padrões de qualidade microbiológica, sendo na determinação de níveis de remoção de patógenos ou na recomendação de medidas que minimizem a exposição. Os grupos expostos a maior risco são os trabalhadores que entram em contato direto com o solo e as plantações, da mesma forma que os familiares que vivem junto aos trabalhadores possuem um risco potencial elevado devido ao contato direto. O grupo de pessoas que residem próximas às áreas irrigadas também estão expostas, mas em grau menor.

Se for constatada a contaminação por coliformes termotolerantes na água, pode-se supor a presença de organismos patogênicos, que causam doenças como febre tifóide, febres entéricas e ainda infecções generalizadas com acesso à corrente sanguínea e à urina. Alguns organismos patogênicos podem infectar o homem a partir das fezes de outros animais, sendo de suma importância que este fator seja considerado como uma barreira sanitária específica (PAGANINI, 1997).

A Tabela 2.3 apresenta concentrações típicas de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos domésticos

TABELA 2.3 – CONCENTRAÇÕES TÍPICAS DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS E INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO EM ESGOTOS DOMÉSTICOS

| ORGANISMO | CONCENTRAÇÃO |
|---|-------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | 10^6 - 10^8 /100 mL |
| <i>Salmonellae spp.</i> | 10^2 - 10^3 /0,1 mL |
| Cistos de <i>Giardia sp.</i> | 10^2 - 10^4 / L |
| Oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> | 10^1 - 10^2 / L |
| Ovos de helmintos | 10^1 - 10^3 / L |
| Vírus | 10^2 - 10^5 / L |

FONTE: BASTOS (2003)

Segundo CAVALCANTI (2003) apud van HAANDEL (2005), os mecanismos de remoção dos principais organismos patogênicos têm naturezas diversas. Os coliformes termotolerantes decaem naturalmente em sistemas de tratamento, tendo, portanto, um mecanismo biológico de remoção. Os ovos de helmintos são removidos por sedimentação em sistemas como lagoas ou por floculação em sistemas com lodo em suspensão ou biofilmes. Em sistemas de lagoas, a remoção de ovos de helmintos é mais eficiente que a de coliformes, de modo que no dimensionamento destas, a cinética de decaimento de bactérias é o fator determinante.

A irrigação com esgotos sanitários é uma forma de fertirrigação, e o fornecimento de nutrientes se dá de maneira contínua e gradual, o controle do balanço de nutrientes é mais difícil do que na irrigação tradicional.

A maior parte dos processos de tratamento secundário de esgotos foi inicialmente concebida para remoção de matéria orgânica e, em geral, são pouco eficientes na remoção de organismos patogênicos. As bactérias, seguidas dos vírus, são os organismos patogênicos mais sensíveis à ação de desinfetantes físicos e químicos e, portanto, são de inativação relativamente fácil em estações de tratamento de água e esgotos. Os cistos de protozoários e ovos de helmintos, são bem mais resistentes; por outro lado, apresentam tamanho e densidades que favorecem a potencial remoção por sedimentação e filtração (BASTOS, 2003).

As lagoas de estabilização geram como produtos finais do tratamento de esgoto o lodo de esgoto e o efluente líquido. As lagoas de estabilização são responsáveis pelo tratamento biológico primário e secundário que eliminam os principais agentes patógenos do esgoto, evitando assim a transmissão de doenças e reduzindo a carga elevada em matéria orgânica particulada (ANGELAKIS et al., 1999).

HESPAHOL (2002) salienta que a remoção de ovos de helmintos não é atendida com os sistemas convencionais de tratamento, como lodos ativados e filtros biológicos, e que as lagoas de estabilização, além de garantir segurança no tratamento, atendem as diretrizes da Organização Mundial da Saúde.

Em vista da eficiência das lagoas de estabilização na remoção de helmintos e coliformes termotolerantes, SHUVAL (1991), JIMENEZ (2002), EPA (2004); WHO (2006) sugerem este processo de tratamento de efluentes como favorável para o reúso agrícola.

Segundo VON SPERLING (2002), as lagoas são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento em vista da disponibilidade de área superficial em um grande número de localidades, clima favorável com temperatura e insolação elevadas, simplicidade operacional e utilização de poucos ou ausência de equipamentos.

A Tabela 2.4 apresenta a eficiência de remoção de patógenos por meio do tratamento de esgotos. Tendo em vista o relativo baixo custo das lagoas de estabilização e a elevada eficiência na remoção dos diversos organismos patogênicos, elas se destacam como alternativa na remoção destes organismos, principalmente cistos de protozoários e ovos de helmintos.

TABELA 2.4 – EFICIÊNCIA TÍPICA DE REMOÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS EM PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.

| PROCESSO DE TRATAMENTO | EFICIÊNCIA TÍPICA DE REMOÇÃO (log 10) | | | |
|---|---------------------------------------|------------|--------------|------------|
| | Bactérias | Vírus | Protozoários | Helmintos |
| Processos secundários convencionais + decantação secundária | 0-2 | 0-1 | 0-1 | 0-2 |
| Precipitação química | 1-2 | 0-1 | 0-1 | 1-3 |
| Precipitação química + Filtração terciária | 1-2 | 1-2 | 1-3 | 1-3 |
| Biofiltros | 0-2 | 0-1 | 0-1 | 0-2 |
| Reatores anaeróbios | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
| Lagoas de estabilização | 1-6 | 1-4 | 1-4 | 1-3 |
| Desinfecção | 2-6 | 1-4 | 0-3 | 0-1 |
| Precipitação química + Filtração terciária + desinfecção | 2-6 | 1-4 | 1-4 | 1-3 |

FONTE: MARA e CAIRNCROSS (1989) APUD BASTOS (2003)

A Figura 2.1 ilustra a eficiência de remoção de ovos de helmintos segundo o modelo de AYRES et al. (1992) apud BASTOS (2003), sendo aplicadas as equações (1) e (2). Na equação (1) a eficiência média de remoção é empregada para representar condições médias de operação, enquanto na equação (2) a eficiência de remoção é segundo o limite inferior de confiança de 95%, devendo ser usada para projeto, por se posicionar a favor da segurança.

Estas equações foram desenvolvidas a partir de estudos em lagoas no Brasil, Kênia e Índia, onde a remoção depende do tempo de detenção hidráulica em cada lagoa.

$$E = 100.[1 - 0,14.e^{(-0,38.t)}] \quad (1)$$

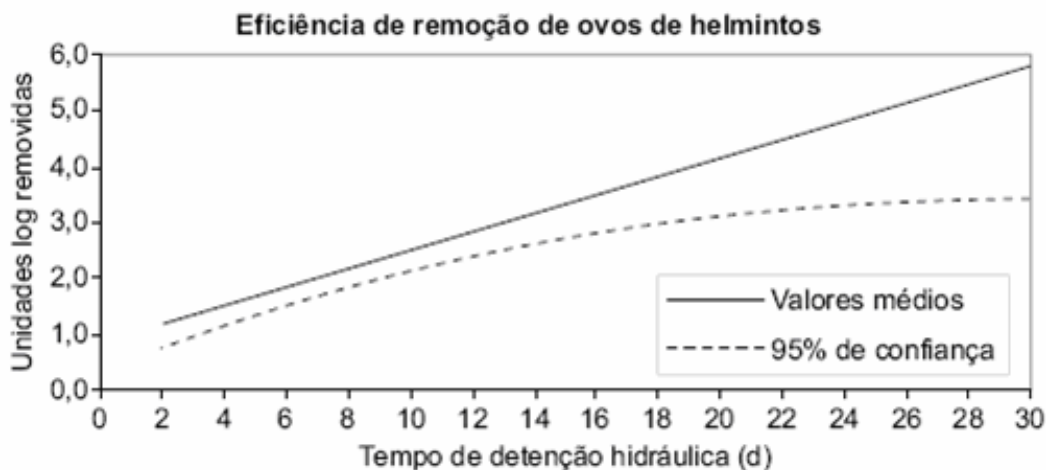
$$E = 100.[1 - 0,41e^{(-0,49t+0,085t^2)}] \quad (2)$$

em que:

E = eficiência de remoção de ovos de helmintos (%);

t = tempo de detenção hidráulica em cada lagoa da série (d).

FIGURA 2.1 – UNIDADES LOGARÍTMICAS REMOVIDAS DE OVOS DE HELMINTOS, PELO MODELO DE AYRES ET AL(1992)



Para avaliar qual o tratamento secundário mais adequado para uma determinada situação, van HAANDEL (2005) comparou os sistemas misto -lagoa de estabilização, com o aeróbio- lodo ativado e com o anaeróbio - reator UASB, não somente o desempenho, mas também s outros fatores apresentados na Tabela 2.5.

A conclusão do autor, pela análise desta tabela, é que nenhum dos sistemas básicos reuniu qualidade em todos os aspectos importantes e que a possibilidade de se combinar diferentes tipos de tratamento pode permitir o aproveitamento dos pontos fortes de cada sistema individualmente, reduzindo-se ao mesmo tempo seus pontos fracos.

Uma grande vantagem da lagoa de estabilização, já mencionada anteriormente, e que também pode ser observada na tabela é a eficiência na remoção de coliformes e ovos de helmintos em relação aos outros sistemas. Entretanto, tem como desvantagem os possíveis maus odores e proliferação de insetos, que podem causar problemas para a população.

TABELA 2.5 – PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE OS TRÊS SISTEMAS BÁSICOS

| PARÂMETRO | LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO | LODOS ATIVADO | UASB |
|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Desempenho (% remoção) | | | |
| DBO ₅ | 90 | 95 | 80 |
| DQO | 80 | 90 | 70 |
| SST | 80 | 90 | 75 |
| N | 20 | 90 | 20 |
| P | 20 | 90 | 20 |
| Coliformes | 99,9 | 90 | 90 |
| Ovos helmintos | 99,9 | 50 | 50 |
| Tamanho | | | |
| Tempo de permanência | 25 | 1 | 0,25 |
| Área (m ² /hab) | 3 | 0,03 | 0,01 |
| Profundidade (m) | 1 | 4 | 5 |
| Custo | | | |
| Construção (R\$/hab) | 100 | 200 | 50 |
| Operação (R\$/hab/ano) | 1 | 5 | 1 |
| Simplicidade | Positivo | Negativo | Positivo |
| Construção | Positivo | Negativo. | Positivo |
| Operação | | | |
| Estabilidade operacional | Problemas ao mudar a temperatura | Lodo filamentoso, quebra mecânica. | Excelente |
| Problemas | odor, insetos, visibilidade | Lodo, aerossóis | Odor (quando mal construído) |

FONTE: VAN HAANDEL (2005)

Na Tabela 2.6 encontra-se a composição típica encontrada no efluente predominantemente domésticos de lagoas de polimento ou maturação.

TABELA 2.6 – COMPOSIÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DE UM EFLUENTE DE LAGOA DE POLIMENTO

| PARÂMETRO | EFLUENTE LAGOA DE POLIMENTO |
|----------------------------|-----------------------------|
| pH | 7,4-9,52 |
| SST (mg/L) | 36,2-156,3 |
| SDT (mg/L) | - |
| Na (mg/L) | 43,7-207 |
| Ca (mg/L) | 5,9-128 |
| Mg (mg/L) | 2,8-49 |
| RAS | 2,8-10,2 |
| Condutividade (ds/m) | 0,5-1,2 |
| DQO | 60-120 |
| DBO | 30-50 |
| SST | 40-80 |
| NTK | 10-40 |
| P | 5-8 |
| Ovos de helmintos | 0 |
| Sólidos sedimentáveis | 0,1 |
| Coliformes termotolerantes | 10 ² – 10 |

FONTE: ANDREOLI et al. (2005) adaptado de BASTOS(2003); CAVALCANTI, et al.(2001)

BRANDÃO et al. (2002) apontam para o fato de que apesar dos efluentes dos sistemas com séries de quatro ou mais lagoas de estabilização apresentarem características que permitam a sua utilização para irrigação irrestrita, deve ser adotado o controle da contaminação do efluente afim de evitar problemas ambientais e a contaminação dos trabalhadores.

2.2.5 Diretrizes e Critérios de Utilização de Efluentes para Irrigação

O descarte de efluentes em corpos d'água deve estar de acordo com a Resolução da CONAMA nº 357/05, a qual estabelece a classificação do corpo

receptor em função de seus usos preponderantes no território nacional. De acordo com a Resolução, as águas servidas que atingirem os níveis determinados pelo órgão regulamentador para atender a Classe 2, poderão ser aproveitadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, desta forma, sendo possível chegar a recomendações para o uso planejado dos efluentes.

A Tabela 2.7 apresenta os padrões de qualidade para águas superficiais, segundo resolução CONAMA 357/2005.

TABELA 2.7 - PADRÕES DE QUALIDADE PARA ÁGUAS SUPERFICIAIS – RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005

| PARÂMETRO | UNIDADE | CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | CLASSE 4 |
|----------------------------|---------------------|---|---|--|-----------|
| Materiais flutuantes | - | v. a (1) | v. a | v. a | v. a |
| Óleos e graxas | - | v. a | v. a | v. a | (2) |
| Gosto e odor | - | v. a | v. a | v. a | (3) |
| Corantes artificiais | - | v. a | (4) | (4) | - |
| Sólidos dissolvidos | mg/L | 500 | 500 | 500 | - |
| Coliformes termotolerantes | NPM/100ml | 200 (5) | 1000(5) | 2500(6) 1000(7) 4000 | - |
| DBO ₅ | mg/L O ₂ | 3 | 5 | 10 | - |
| Oxigênio dissolvido | mg/L O ₂ | 6 | 5 | 4 | 2 |
| Turbidez | UT | 40 | 100 | 100 | - |
| Cor verdadeira | mg Pt/L | natural | 75 | 75 | - |
| pH | - | 6.0 a 9.0 | 6.0 a 9.0 | 6.0 a 9.0 | 6.0 a 9.0 |
| Fósforo total | mg/L P | 0,020 ⁽⁸⁾ 0,025 ⁽⁹⁾ 0,1 ⁽¹⁰⁾ | 0,030 ⁽⁸⁾ 0,050 ⁽⁹⁾ 0,1 ⁽¹⁰⁾ | 0,050 ⁽⁸⁾ 0,075 ⁽⁹⁾ 0,15 ⁽¹⁰⁾ | - |
| Nitrato | mg/L N | 10 | 10 | 10 | - |

Continuação

| PARÂMETRO | UNIDADE | CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | CLASSE 4 |
|----------------------|---------|---------------|---------------|----------------|----------|
| Nitrogênio amoniacal | mg/L N | 3,7; pH ≤ 7,5 | 3,7; pH ≤ 7,5 | 13,3; pH ≤ 7,5 | - |
| | | 2,0; 7,5 ≤ pH | 2,0; 7,5 ≤ pH | 5,6; 7,5 ≤ pH | |
| | | 8,0 | 8,0 | 8,0 | |
| | | 1,0; 8,0 ≤ pH | 1,0; 8,0 ≤ pH | 2,2; 8,0 < pH | |
| | | 8,5 | 8,5 | ≤ 8,5 | |
| | | 0,5; pH > 8,5 | 0,5; pH > 8,5 | 1,0; pH > 8,5 | |

(1)v. a. :virtualmente ausentes

(2)toleram-se iridescências

(3)odor e aspecto: não objetáveis

(4)ausência de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais

(5)em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de 1 ano, com frequência bimestral

(6)para recreação de contato secundário

(7)para dessedentação de animais criados confinados

(8)ambiente lêntico

(9)ambiente intermediário e tributários diretos de ambiente lêntico

(10)ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários

No Brasil, ainda estão sendo desenvolvidos padrões, normas e códigos de prática de reúso agrícola baseadas em diretrizes internacionais e experiências nacionais.

Para que a água de reúso possa ser aplicada, é necessário adequar as suas características aos padrões de qualidade compatíveis com os usos pretendidos, o que é feito por meio da utilização de operações e processos unitários de tratamento, que sejam capazes de remover os contaminantes presentes.

Em 28 de novembro de 2005 entrou em vigor a Resolução N° 54, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que trata do reúso direto não-potável de água. Esta Resolução é um dos primeiros passos no âmbito Legal do reúso no Brasil. Ela estabelece modalidades para a prática de reúso direto não - potável de água.

Como dito anteriormente, uma legislação específica com parâmetros de qualidade para água de reúso, em que sejam considerandos os aspectos sanitários e ambientais, ainda não foi elaborada no País.

A OMS desenvolveu em 1973 diretrizes direcionadas aos métodos de

tratamento de efluentes visando a proteção da saúde pública intituladas de *Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Public Health Safeguards*. Estas diretrizes foram atualizadas em 1989, com estudos epidemiológicos, onde foram propostos critérios para o uso da água de reúso na agricultura e aquicultura, publicados no documento intitulado *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. Em setembro de 2006, foi feita uma nova publicação da OMS intitulada *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, com o enfoque em uso de águas residuárias, excretas e águas cinzas.

Águas cinzas são aquelas provenientes de chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas, entre outras

Na Tabela 2.8 são apresentadas as diretrizes de qualidade da água para os parâmetros físico-químicos para fins de irrigação segundo WHO (2006). As diretrizes consideram principalmente os valores de salinidade (condutividade elétrica), sodicidade (concentração de sódio) e toxicidade de elementos específicos (metais pesados).

Os limites estabelecidos por WHO (2006) para níveis de elementos-traço na água de reúso para utilização agrícola encontram-se na Tabela 2.10.

TABELA 2.8– QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO PARA IRRIGAÇÃO SEGUNDO WHO(2006)

| PARÂMETRO | NOTA | UNIDADE | GRAU DE RESTRIÇÃO AO USO | | |
|----------------------|---------------------------|---------|-----------------------------|------------------|--------------|
| | | | Nenhum | Pouco a moderado | Severo |
| Salinidade(EC_w) | - | dS/m | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
| SDT | - | mg/L | < 450 | 450 - 2000 | > 2000 |
| SST | - | mg/L | < 50 | 50 - 100 | > 100 |
| RAS | 0-3 | meq/L | >0,7 EC_w | 0,7 – 0,2 EC_w | < 0,2 EC_w |
| RAS | 3-6 | meq/L | >1,2 EC_w | 1,2 – 0,3 EC_w | < 0,3 EC_w |
| RAS | 6-12 | meq/L | >1,9 EC_w | 1,9 – 0,5 EC_w | < 0,5 EC_w |
| RAS | 12-20 | meq/L | >2,9 EC_w | 2,9 – 1,3 EC_w | < 1,3 EC_w |
| RAS | 20-40 | meq/L | >5,0 EC_w | 5,0 – 2,9 EC_w | < 2,9 EC_w |
| Na^+ | Irrigação por aspersão | meq/L | < 3 | > 3 | |
| Na^+ | Irrigação superficial | meq/L | < 3 | 3 - 9 | > 9 |
| Cl^- | Irrigação por aspersão | meq/L | < 3 | > 3 | |
| Cl^- | Irrigação superficial | meq/L | < 4 | 4 - 10 | > 10 |
| Cl_2 | Residual total | mg/L | < 1 | 1 - 5 | > 5 |
| HCO_3^- | - | mg/L | < 90 | 90 - 500 | > 500 |
| B | - | mg/L | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
| H_2S | - | mg/L | < 0,5 | 0,5 – 2,0 | > 2,0 |
| Fe | Irrigação por gotejamento | mg/L | < 0,1 | 0,1 – 1,5 | > 1,5 |
| Mn | Irrigação por gotejamento | mg/L | < 0,1 | 0,1 – 1,5 | > 1,5 |
| Nitrogênio Total | - | mg/L | < 5 | 5 - 30 | > 30 |
| pH | - | - | Faixa usual entre 6,5 a 8,0 | | |

FONTE: WHO (2006)

EC_w Condutividade elétrica em deciSiemens por metro a 25°C
RAS – taxa de adsorção do sódio [(meq/L)^{1/2}]

Na Tabela 2.9 podem ser observadas diretrizes microbiológicas recomendadas por WHO/OMS (2006) quanto as formas de tratamento para redução de patógenos e suas concentrações de coliformes termotolerantes para irrigação restrita e irrestrita.

TABELA 2.9 – DIRETRIZES MICROBIOLÓGICAS RECOMENDADAS POR WHO(2006) PARA USO DE ESGOTOS NA AGRICULTURA E MONITORAMENTO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES

| TIPO DE IRRIGAÇÃO | OPÇÃO PARA REDUÇÃO DE PATÓGENOS | REDUÇÃO DE PATÓGENOS NECESSÁRIA POR TRATAMENTO (UNIDADE LOG) | VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE MONITORAMENTO (E. COLI POR 100 ML) | OBSERVAÇÕES |
|-------------------|---------------------------------|--|--|--|
| Irrestrita | A | 4 | $\leq 10^3$ | Cultivo de raízes |
| | B | 3 | $\leq 10^4$ | Cultivo de folhas |
| | C | 4 | $\leq 10^5$ | Irrigação por gotejamento para cultivo de alto crescimento |
| | D | 4 | $\leq 10^3$ | Irrigação por gotejamento para cultivo de baixo crescimento |
| | E | 6 ou 7 | $\leq 10^1$ ou 10^0 | Níveis de verificação dependem das exigências da agência reguladora local ⁽¹⁾ |
| Restrita | F | 4 | $\leq 10^4$ | Agricultura com intensa mão de obra humana |
| | G | 3 | $\leq 10^5$ | Agricultura altamente mecanizada |
| | H | 0,5 | $\leq 10^6$ | Remoção de patógenos em tanque séptico |

FONTE: WHO (2006)

1 Por exemplo, para tratamento secundário, filtração e desinfecção: DBO < 10 mg/L; Turbidez < 2 UT; Cloro residual = 1,0 mg/L; pH entre 6-9 e coliformes termotolerantes não detectáveis em 100 mL
A,B – Tratamento + Die-off (redução de 2 unidade log. patógenos antes da última irrigação e consumo) + Lavagem do produto antes do consumo (redução de 1 unidade).
C, D – Tratamento + Irrigação por gotejamento
E – Tratamento avançado
F, G, H – Tratamento + Irrigação subsuperficial

TABELA 2.10 – LIMITES ESTABELECIDOS PELA WHO (2006) PARA OS NÍVEIS DE ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA DE REÚSO UTILIZADA NA AGRICULTURA

| ELEMENTO | OBSERVAÇÕES |
|-----------------------|---|
| Alumínio | Pode provocar falta de produtividade em solos ácidos ($\text{pH} < 5,5$), mas em solos mais alcalinos ($\text{pH} > 7,0$) precipitará o íon e elimina qualquer toxicidade. |
| Arsênico | Toxicidade para extensa variedade de plantas, numa faixa de 12,0 mg/L para gramínea sudanesa a menos de 0,05 mg/L para arroz. |
| Berílio | Toxicidade para extensa variedade de plantas, numa faixa de 5,0 mg/L para couve a menos de 0,5 mg/L para feijão. |
| Cádmio | Tóxico para feijão, beterraba e nabo a concentrações tão baixas quanto 0,1 mg/L em solução de nutrientes. Limites conservativos são recomendados devido seu potencial para acumulação nas plantas e no solo. |
| Cobalto | Toxicidade para tomate a 0,1 mg/L em solução de nutrientes. Tende a ser inerte em solos neutros e alcalinos. |
| Cromo | Não é conhecido como um elemento essencial ao crescimento. Limites conservativos são recomendados devido à falta de conhecimento de sua toxicidade em plantas |
| Cobre ^b | Tóxico para diversas plantas entre 0,1 e 1,0 mg/L em solução de nutrientes. |
| Fluoreto | Inerte em solos neutros e alcalinos. |
| Ferro ^b | Não é tóxico para plantas em solo aerado, mas pode contribuir para a acidificação do solo e perda da disponibilidade essencial de fósforo e molibdênio. Aspersão aérea pode resultar em depósitos sobre plantas, equipamentos e edificações causando danos à aparência. |
| Lítio | Tolerado pela maioria das culturas até 5 mg/L; mobilidade no solo. Tóxico para plantas cítricas a baixas concentrações ($< 0,075$ mg/L). Atua de forma similar ao boro. |
| Manganês ^b | Tóxico para diversas culturas de poucos décimos a poucos mg/L, mas usualmente apenas para solos ácidos. |
| Molibdênio | Não é tóxico para plantas em concentrações normais encontradas no solo e água. Pode ser tóxico para a criação animal se a pastagem cresce em solo com alta concentração disponível de molibdênio. |
| Níquel | Tóxico para diversas plantas entre 0,5 e 1,0 mg/L; A toxicidade é reduzida em pH neutro ou alcalino. |
| Chumbo | Pode reduzir o crescimento celular da planta em altas concentrações. |
| Selênio | Tóxico para as plantas a uma concentração tão baixa quanto 0,025 mg/L, e tóxico para a criação animal se a pastagem cresce em solo com níveis relativamente altos de selênio adicionado. Essencial para animais, porém em concentrações muito baixas. |
| Vanádio | Tóxico para várias plantas em concentrações relativamente baixas. |
| Zinco ^b | Tóxico para diversas plantas em uma vasta faixa de concentração; Toxicidade reduzida para $\text{pH} > 6$ e em solos de textura fina ou orgânica. |

FONTE: WHO (2006)

a) A concentração máxima é baseada na taxa de aplicação da água que está em conformidade com as boas práticas de irrigação (5.000 - 10.000 m³/ha por ano). Se a taxa de aplicação da água exceder estas quantidades, a concentração máxima deve ser decrescida adequadamente. Nenhum ajuste deverá ser feito para taxas de aplicação < 10.000 m³/ha por ano.

b) Ações sinérgicas do Cu e Zn e ações antagônicas do Fe e Mn têm sido relatadas na adsorção em certas espécies de plantas e tolerância de metais após irrigação com efluente. Se a água de irrigação contiver altas concentrações de Cu e Zn, a concentração de Cu no tecido da planta pode aumentar muito. Em plantas irrigadas com água contendo altas concentrações de Mn, a concentração de Mn tende a aumentar e, conseqüentemente a concentração de Fe no tecido da planta pode reduzir consideravelmente. Geralmente a concentração de metais no tecido das plantas aumenta com a concentração da água de irrigação. Concentrações nas raízes são usualmente mais altas que nas folhas.

A EPA publicou em 2004 o documento *Guidelines for Water Reuse*, onde encontram-se as diretrizes. A Tabela 2.11 apresenta as diretrizes publicadas pela EPA 2004 para reúso de água onde foram examinadas as formas de uso de efluentes tratados, revisando a publicação de 1992.

TABELA 2.11 - DIRETRIZES SUGERIDAS PELA EPA - 2004 PARA O REÚSO DE ÁGUA

| TIPOS DE REÚSO | QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO | DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA ⁽¹⁾ | COMENTÁRIOS |
|--|---|--|--|
| Urbano | pH = 6 a 9; DBO _{5,20} ≤ 10 mg/L; Turbidez = 2 UT ⁽²⁾ ; | 15m de poços para abastecimento de água potável. | - Para o reúso urbano, a água de reúso não deve possuir odor e cor. - Para agricultura irrestrita, altos níveis de nutrientes podem causar efeitos adversos durante certas fases de crescimento das plantas. |
| Agricultura irrestrita | CTT – não detectável ⁽³⁾ ; Mínimo de 1 mg/L de cloro (Cl ₂) residual ⁽⁴⁾ . | | |
| Irrigação com acesso restrito | pH = 6 a 9; DBO _{5,20} e SST = 30mg/L; = 200 CTT/100mL ^(5,6) ; Mínimo de 1 mg/L Cl ₂ residual | - 90m de poços para abastecimento de água potável. - Para reúso na agricultura, 30m de áreas acessíveis ao público (se irrigação por aspersão). | - Se a irrigação é feita com o uso de aspersão, SST < 30 mg/L pode ser necessário; - Para reúso na agricultura, altos níveis de nutrientes podem causar efeitos adversos durante certas fases de crescimento das plantas; - Para reúso na agricultura (não produção de alimentos): : animais produtores de leite devem ser proibidos de pastar por 15 dias após o término da irrigação. Um maior nível de desinfecção é requerido se este período de espera não é seguido (= 14 CTT/100mL). |
| Agricultura | | | |
| -Não produção de alimentos - Alimentos processados comercialmente | | | |

FONTE: EPA (2004)

(1) São recomendados para proteger os suprimentos de água potável de contaminação e os seres humanos de riscos desnecessários; (2) Deve ser alcançado antes da desinfecção; (3) O número de CTT não deve exceder a 14/100 mL em nenhuma amostra; (4) O total de cloro residual deve ser atingido após um tempo de contato mínimo de 30 minutos; (5) O número de CTT não deve exceder a 800/100 mL em nenhuma amostra; (6) Monitoramento deve incluir compostos inorgânicos e orgânicos, ou classes de compostos, que são conhecidos ou suspeitos de serem tóxicos, carcinogênicos, teratogênicos ou mutagênicos e não estão incluídos nos padrões de água potável;

Nos Estados Unidos há regulamentações estaduais variáveis para o reúso de água em diferentes Estados, como pode ser observada na Tabela 2.12.

TABELA 2.12 – DIRETRIZES PARA REÚSO AGRÍCOLA EM DIVERSOS ESTADOS DOS EUA

| REÚSO AGRÍCOLA – NÃO ALIMENTOS | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| | Arizona | Califórnia | Flórida | Havaí | Nevada | Texas | Washington |
| Tratamento | Secundário Desinfecção | Secundário Oxidação Desinfecção | Secundário Desinfecção | Oxidação Filtração Desinfecção | Secundário Desinfecção | NE | Oxidação Desinfecção |
| DBO | NE | NE | 20 mg/L | NE | 30 mg/L | 5 mg/L | 30 mg/L |
| SST | NE | NE | 20 mg/L | NE | NE | NE | 30 mg/L |
| Turbidez | NE | NE | NE | 2 uT (máximo) | NE | 3 uT | 2 UT (média) 5 UT (máximo) |
| | <i>Fecal</i> | <i>Total</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Total</i> |
| | 200/100 ml (média) | 23/100 ml (média) | 200/100 ml (média) | 2,2/100 ml (média) | 200/100 ml (média) | 20/100 ml (média) | 23/100 ml (média) |
| Coliformes | 800/100 ml (máximo) | 240/100 ml (máximo em 30 dias) | 800/100 ml (máximo) | 23/100 ml (máximo) | 400/100 ml (máximo) | 75/100 ml (máximo) | 240/100 ml (máximo) |

| REÚSO AGRÍCOLA – ALIMENTOS | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
| | Arizona | Califórnia | Flórida | Havaí | Nevada | Texas | Washington |
| Tratamento | Secundário Filtração Desinfecção | Oxidação Coagulação Filtração Desinfecção | Secundário Filtração Desimpeça | Oxidação Filtração Desinfecção | Secundário Desinfecção | NE | Oxidação Coagulação Filtração Desinfecção |
| DBO | NE | NE | 20 mg/L | NE | 30 mg/L | 5 mg/L | 30 mg/L |
| SST | NE | NE | 5 mg/L | NE | NE | NE | 30 mg/L |
| | 2 UT (média) | 2 UT (média) | | 2 uT (máximo) | | | 2 UT (média) |
| Turbidez | 5 UT (máximo) | 5 UT (máximo) | NE | | NE | 3 uT | 5 UT (máximo) |
| | <i>Fecal</i> | <i>Total</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Fecal</i> | <i>Total</i> |
| | Não detectável | 2,2/100 ml (média) | 75% das amostras não detectáveis | 2,2/100 ml (média) | 200/100 ml (média) | 20/100 ml (média) | 2,2/100 ml (média) |
| Coliformes | 23/100 ml (máximo) | 23/100 ml (máximo em 30 dias) | 25/100 ml (máximo) | 23/100 ml (máximo em 30 dias) | 400/100 ml (máximo) | 75/100 ml (máximo) | 23/100 ml (máximo) |

FONTE: EPA (2004)

NOTA: 1 Alto nível de desinfecção

NE – Não Especificado

Tunísia

A Tunísia utiliza as diretrizes da OMS (1989) para água de reúso na irrigação de campos de golfe. Na agricultura, o reúso é regulado pela Lei de Água de 1975 e pelo Decreto de 1989. Essa lei proíbe o uso de efluente bruto na agricultura. O decreto admite a irrigação com esgoto proveniente de sistema de tratamento secundário para todos os tipos de cultivo, exceto vegetais a serem consumidos crus ou cozidos (EPA 2004). Na Tabela 2.13 estão os padrões para água de reúso utilizados no País.

TABELA 2.13 - PADRÕES PARA ÁGUA DE REÚSO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NA TUNÍSIA

| PARÂMETROS | CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (mg/L) |
|---|-------------------------------|
| pH | 6,5 – 8,5 |
| Condutividade Elétrica (uS/cm) | 7.000 |
| DQO | 90 |
| DBO ₅ | 30 |
| Sólidos Suspensos | 30 |
| Cloro | 2.000 |
| Flúor | 3,0 |
| Hidrocarbonetos Halogenados | 0,001 |
| Arsênico | 0,1 |
| Boro | 3,0 |
| Cádmio | 0,01 |
| Cobalto | 0,1 |
| Cromo | 0,1 |
| Cobre | 0,5 |
| Ferro | 5,0 |
| Manganês | 0,5 |
| Merúrio | 0,001 |
| Níquel | 0,2 |
| Chumbo | 1,0 |
| Selênio | 0,05 |
| Zinco | 5,0 |
| Parasitas Intestinais (média aritmética n.º de ovos/L) | <1,0 |

FONTE: ANGELAKIS et al. (1999)

México

A normativa para reúso de água no México é baseada nas normas oficiais obrigatórias no país, considerando estudos epidemiológicos, condições econômicas locais, como estratégia para a conservação de água de outras fontes e aproveitamento de nutrientes e matéria orgânica. O padrão de ovos de helmintos é ≤ 5 ovos/L, para irrigação irrestrita a média diária de coliformes termotolerantes é de $\leq 2.000/100\text{mL}$ e a média mensal de 1.000 coliformes termotolerantes/100mL (YOVAL e MISSET, 2004; JIMENEZ, 2002). Esta normativa é conhecida como NOM-001-ECOL-1996, e pode ser observada na Tabela 2.14.

TABELA 2.14 - PADRÕES REQUERIDOS PELO MÉXICO PARA REÚSO NA AGRICULTURA - NOM-001-ECOL-1996

| IRRIGAÇÃO | COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ML) | OVOS DE HELMINTOS /L |
|------------|--|-------------------------|
| Restrita | 1000m-2000d | ≤ 5 |
| Irrestrita | 240m – 2000d | ≤ 1 |

FONTE: YOVAL, L., MISSET, J.(2004)

NOTA: m = Média geométrica mensal; d = Média geométrica diária

2.2.6 Aspectos Econômicos do Reúso de Água

De acordo com BELLIA (1996), o estudo da economia dos recursos naturais e ambientais exige que sejam conhecidas as características individuais, de modo que possam ser definidos os impactos, positivos ou negativos, dos usos como são feitas as apropriações humanas. De forma simplificada, os recursos podem ser definidos como renováveis ou como não renováveis.

ZORDAN (2003) propôs critérios de avaliação para análise econômica em atividades de baseados nos principais custos envolvidos em cada processo ou atividade do sistema de reciclagem de resíduos de tratamento de esgotos. Os aspectos de mercado e econômicos foram mensurados a partir de informações fornecidas por especialistas de cada sistema de reciclagem analisado, e dispostos hierarquicamente sob o aspecto econômico mais atrativo.

A proposta foi feita para o resíduo de lodo de tratamento de esgotos, mas

também se aplica ao efluente.

- Custos com investimento iniciais:
 - investimentos em pesquisa e desenvolvimento;
 - espaço físico para as instalações;
 - compras de máquinas e equipamentos.
- Custo de transporte:
 - Tipo de transporte;
 - Distância de transporte.
- Custos operacionais:
 - Mão-de-obra;
 - Consumo de energia e combustíveis;
 - Consumo de matéria-prima;
 - Consumo de água.
- Custos ambientais:
 - Possibilidade de reúso do material;
 - Reciclabilidade dos resíduos gerados;
 - Tecnologia de gerenciamento dos resíduos;
 - Quantidade de resíduos gerados.

Segundo ASANO e MILLS (1990), as análises econômicas e financeiras, bem como o conhecimento das expectativas do futuro usuário, são fundamentais para o trato econômico de um projeto de reúso de águas:

- a análise econômica, que tem por finalidade explicitar, em termos de custos e benefícios, a necessidade e justificativa de um projeto de reúso, dada uma situação específica e determinadas condições, que dizem respeito

aos efeitos do projeto na sociedade e representa o valor monetário necessário aos investimentos em projetos e construções das instalações, e operação e manutenção do sistema.

- a análise financeira, que tem por finalidade desvendar se um projeto de reúso é possível, ou alavancável, em termos de fonte de capital para os investimentos iniciais e a geração de receitas futuras para garantir a sua amortização do novo sistema e do sistema preexistente não seja considerado pela análise econômica.
- O conhecimento das expectativas do futuro usuário, em relação à disposição a pagar pela água; investimentos necessários em instalações; redução de despesas, como fertilizantes, por exemplo; resistência cultural e aceitabilidade.

Para a obtenção de resultados mais precisos na avaliação econômica de alternativas relacionadas à otimização do uso da água e minimização da geração de efluentes, deve-se considerar os seguintes custos (MIERZWA, 2002) :

- Custos diretos: custos identificados em uma análise financeira convencional como, por exemplo, capital investido, matéria-prima, mão de obra e custos de operação, entre outros;
- Custos indiretos: custos que não podem ser diretamente associados aos produtos, processos, ou instalações como um todo, alocados como despesas gerais, tais como os custos de projeto, custos de monitoração e de descomissionamento;
- Custos duvidosos: custos que podem, ou não, tornarem-se reais no futuro. Esses podem ser descritos qualitativamente ou quantificados em termos da expectativa de sua magnitude, frequência e duração. Como exemplo, podem-se incluir os custos originados em função do pagamento de indenizações e/ou multas resultantes de atividades que possam comprometer o meio ambiente e a saúde da população;

- Custos intangíveis: são os custos que requerem alguma interpretação subjetiva para a sua avaliação e quantificação. Esses incluem uma ampla gama de considerações estratégicas e são imaginados como alterações na rentabilidade. Os exemplos mais comuns referem-se aos custos originados em função da mudança da imagem corporativa da empresa, relação com os consumidores, trabalhadores envolvidos e relação com os órgãos de controle ambiental.

De acordo com ABES (1992), entre os custos que podem ser associados ao reúso planejado da água estão:

- Custos de capital e de operação das instalações para tratamento das águas residuárias no grau requerido para a obtenção da qualidade necessária para o reúso.
- Custos de capital e de operação para dar destino adequado aos subprodutos dos processos de tratamento.
- Custos de capital e de operação para as instalações de condução das águas residuárias, desde os pontos de geração até o local de tratamento para reúso e utilização da água.
- Custos de capital e de operação para auto-produção de água com a qualidade requerida pelo uso a que se destina, potável, industrial ou outros.
- Custos relativos à compra de água produzida por terceiros, abrangendo taxas, tarifas.
- Custos de capital e de operação da instalação necessária para assegurar confiabilidade ao sistema – reservatórios
- Custos ambientais, decorrentes dos riscos ambientais referentes ao tratamento da água a ser reusada, dos projetos de construção do sistema.

Para a determinação do custo de um projeto de sistema de abastecimento de água potável, fazendo-se uma analogia com o da água residuária tratada, deve-se considerar os custos fixos de investimento e os gastos variáveis de operação e de manutenção recorrentes ao longo do projeto. Nos custos fixos são considerados os equipamentos das instalações hidráulicas, tais como tubulação, válvulas, peças entre outros e os gastos com a implantação do sistema, que corresponde às obras civis de escavação e montagem destes equipamentos (GOMES, 2004).

Segundo GOMES (2004), os custos das tubulações variam diretamente com seus comprimentos, materiais, diâmetros e pressões nominais dos tubos escolhidos. Nos sistemas de abastecimento de água, os custos mais representativos são os de implantação das redes de distribuição seguidos dos custos da adutora, em função da população atendida pelo sistema de abastecimento.

Na Tabela 2.15 estão relacionados os custos de capital e de processo de diferentes desinfetantes.

TABELA 2.15 CUSTOS DE CAPITAL E DE OPERAÇÃO DE DIVERSOS SISTEMAS DE DESINFECÇÃO.

| PROCESSO | TAMANHO DA PLANTA (m ³ X10 ³ XDIA)* | | | | | |
|----------------------------|---|------|-------|---|------|-------|
| | 3,8 | 37,9 | 378,5 | 3,8 | 37,9 | 378,5 |
| | Custo de Capital (US\$X1000) | | | Desinfecção (centavos de dólar /m ³) | | |
| Cloro | 60 | 190 | 840 | 0,92 | 0,38 | 0,18 |
| Cloração/descloração | 70 | 220 | 930 | 1,15 | 0,46 | 0,24 |
| Cloro/Carvão | 640 | 2800 | 8400 | 5,02 | 2,27 | 0,87 |
| Ozônio (ar)** | 190 | 1070 | 6880 | 1,93 | 1,06 | 0,75 |
| Ozônio (O ₂)** | 160 | 700 | 4210 | 1,89 | 0,92 | 0,62 |
| Radiação Ultravioleta** | 70 | 360 | 1780 | 1,11 | 0,71 | 0,60 |

FONTE: ASSIRATI (2005)

*Unidades originais MGD. ** Tratamento terciário não incluído nestes custos

Os preços da água fornecida pelas concessionárias estão atrelados aos custos de tratamento, monitoramento de qualidade, reserva, distribuição de água e pagamento de dívidas. A exemplo disso os preços cobrados pela concessionária responsável pela

região metropolitana de São Paulo visam custear a realização de mais de 20.000 ensaios mensais de monitoramento de coliformes, bactérias heterotróficas, cloro, cor, turbidez, pH, ferro total, alumínio, flúor, cromo total, cádmio, chumbo e trihalometanos (THM), entre outros.

Os valores cobrados pelas concessionárias tendem a subir devido à tendência nacional de se implantar a cobrança pelo uso da água. Esta vem sendo aplicada gradativamente nas diversas bacias do país, principalmente nas que apresentam problemas de escassez.

Para fixação do custo de comercialização da água de reúso, a ser retirada nas estações, via caminhão, levou-se em conta os custos de investimento da ETA de utilidades, acrescidos dos custos operacionais e encargos fiscais. Os preços praticados em 2005 eram de R\$ 0,41/m³ para empresas públicas e R\$ 0,69/m³ para empresas privadas e são reajustados de acordo com a política tarifaria da Sabesp. Projetos customizados para fornecimento via rede, tem seus preços determinados de acordo com as características de cada contrato (SILVA e FLORIO, 2005).

O Fator de Recuperação do Capital (FRC), equação 3, utiliza os juros anuais e fornece um coeficiente que permite calcular o custo fixo anual referente a este investimento, a partir do valor investido (FRANCISCO, 1991 e BERNARDO, 1995), levando em conta a vida útil do equipamento (anos) e a taxa de juros ao ano (%).

$$FRC = \frac{(i+1)^n \cdot i}{(i+1)^n - 1} \quad (3)$$

Onde:

- FRC = fator de recuperação do capital;
- i = taxa anual de juros (%);
- n = vida útil (anos).

2.2.7 Aceitabilidade da Irrigação com Águas Residuárias Tratadas

A aceitação pública é um dos elementos primordiais na determinação do sucesso ou não de um programa de reúso.

Para RIBEIRO et al. (1997) uma forma de avaliar a aceitabilidade dos consumidores e agricultores quanto a um programa do tipo reúso consiste em recolher informações através de questionário ou entrevista, sendo este trabalho facilitado quando se tem consciência dos aspectos a serem observados, como clareza das informações necessárias e o modo como trabalhar com estas informações.

TOZE (2006) explica que as comunidades tendem a ser receptivas ao reúso, sendo que a maior aceitabilidade é para a irrigação de áreas distantes dos centros urbanos. Entretanto demonstram-se preocupados quanto ao nível de tratamento do efluente, sendo desfavoráveis quando há a possibilidade de contato físico com esta água.

HESPANHOL (2003) salienta que a aceitação pública do uso de efluentes na agricultura e aquicultura é influenciada por fatores religiosos e sócio-culturais. O autor exemplifica que nas Américas, África e Europa, há uma forte objeção ao uso de excreta como fertilizante, ao passo que na China, Japão e Indonésia, tal prática é efetuada regularmente, sendo considerada econômica e ambientalmente recomendável. Entretanto, na maioria dos países, não há objeção cultural ao uso de águas residuárias tratadas, sendo a prática bem aceita onde não há outras fontes de água facilmente disponíveis e por razões econômicas.

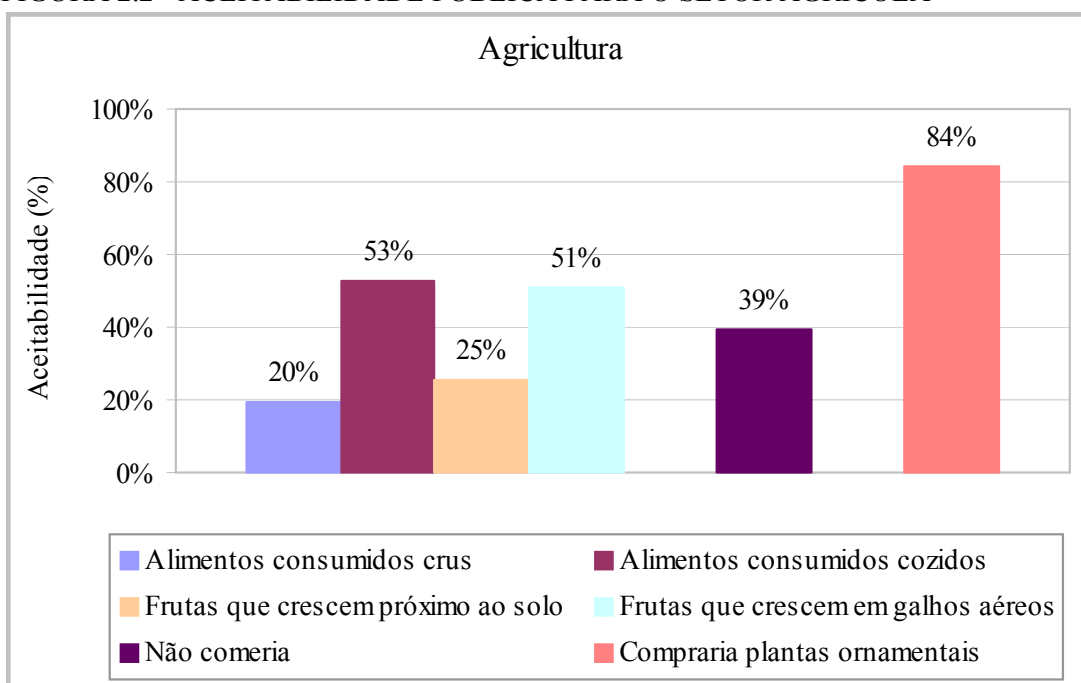
MALINOWSKI (2006) avaliou a aceitabilidade do usuário na cidade de Curitiba em relação ao reúso de efluentes através de questionário, sendo que a finalidade deste estudo foi a verificação da reação da população frente à proposta de reúso de água.

O tipo de população amostrada foram pessoas entre 20 e 40 anos. Destes, 80% possuem segundo grau completo ou nível superior e 20% possuem o primeiro grau completo. Os dados compatibilizados foram de 51 questionários enviados via correspondência eletrônica. No total foram enviados 250 questionários, entretanto,

apenas 60 foram respondidos e destes, nove foram descartados.

A partir da Figura 2.2 percebe-se que para a agricultura a aceitabilidade foi menor, sendo que 20% dos entrevistados aceitariam consumir alimentos crus irrigados com água de reúso e 33% consumiriam alimentos cozidos, totalizando 53% para alimentos crus e cozidos. A rejeição ao consumo de alimentos irrigados com águas residuárias tratadas foi de 39%.

FIGURA 2.2 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR AGRÍCOLA



FONTE: MALINOWSKI (2006)

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica e documental e pesquisa de campo. O estudo foi embasado principalmente na coleta, sistematização e interpretação de informações secundárias.

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho foi estruturada nas seguintes etapas:

1º ETAPA: Para a caracterização da área de estudo inicialmente foi realizado o levantamento de dados do município de São José dos Pinhais. Em seguida foi realizada a caracterização do setor agrícola, onde foi feito o levantamento de campo e aplicado um questionário com pequenos produtores rurais da região. feita a descrição da área de estudo no entorno da Estação de Tratamento de Esgotos Martinópolis e caracterização do efluente na ETE.

2º ETAPA: Esta etapa consta da caracterização do efluente da ETE Martinópolis, onde foi realizada a análise de coliformes termotolerantes (CTT), coliformes totais (CT), nitrogênio e fósforo em laboratório.

3º ETAPA: Foram levantadas as demandas em torno da ETE, fazendo-se importante à caracterização do usuário em termos de requisitos qualitativos e quantitativos. Foi prevista a concepção de diversas ações de reúso para atender a relação oferta-demanda. Para tanto, foram concebidas as ações e definidas as relações oferta e demanda. Posteriormente foi feito estudo de análise econômica, considerando os custos de operação e de manutenção para cada ação estabelecida.

2.3.1 Caracterização da Área de Estudo

Para a caracterização da área de estudo, as informações e mapas foram obtidos principalmente junto a Prefeitura de São José dos Pinhais, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC, SUDERHSA, Instituto de Desenvolvimento Urbano de São José dos Pinhais – IDU, Prefeitura Municipal de São José dos Pinhais e SANEPAR.

2.3.1.1 Caracterização do Setor Agrícola

Em relação ao setor agrícola, os procedimentos metodológicos incluem a pesquisa bibliográfica e entrevista com produtores agrícolas na bacia do Pequeno, sendo obtidas informações sobre área irrigada, tipos de cultivos, fonte de água e sistema de irrigação, bem como através de consulta à EMATER e SEAB do município.

O trabalho de campo foi realizado durante o mês de outubro e a área percorrida foi definida depois de delimitado o raio de entorno de 6 km ao redor da ETE Martinópolis e estudada as características da área, como tipo de solo e cultivos, e a escolha das propriedades visitadas foi feita por amostragem com o auxílio do mapa da região, com o apoio do Engenheiro Agrônomo Waldir Micheletti, Técnico da Secretaria de Agricultura de São José dos Pinhais.

As propriedades agrícolas foram selecionadas por amostragem, devido ao grande número de pequenas propriedades. Com o auxílio do mapa de uso e ocupação do solo foram representadas e mapeadas.

Inicialmente, a área de influência considerada foi a de raios de 5, 6, e 7 km do entorno da ETE, entretanto, observando-se que os raios estipulados abrangiam a maior parte das bacias do Itaqui e Pequeno, e por esta ser um objeto de estudo importante, optou-se por fazer o estudo do potencial agrícola nas bacias em questão.

A Figura 2.3 apresenta o esquema de questionário aplicado nas propriedades agrícolas.

FIGURA 2.3 –QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS PROPRIEDADES RURAIS.

| QUESTIONÁRIO | |
|--|-------------------|
| Data: | |
| Nome: | |
| Localização: | Latitude: |
| | Longitude: |
| Área total da propriedade: | |
| Tempo na atividade: | |
| Cultivo: | |
| Produção: | |
| Área irrigada: | |
| Método de irrigação utilizado: | |
| Irrigação | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tempo de duração: • Frequência da irrigação: • Condições de manutenção: • Vazão estimada (h/dia): • Bombeamento(h/dia): | |
| Fonte de abastecimento : () Rio () Reservatório () Poço | |
| Energia consumida: () Elétrica () Diesel Gasto energético: R\$ Kw.h | |
| Utilização | |
| FERTILIZANTES: () | |
| PESTICIDAS: | |
| Tem conhecimento de outorga? Possui outorga? | |
| Usaria esgoto tratado para irrigação? | |

O município de São José dos Pinhais possui uma alta taxa de urbanização (89,75%), entretanto cerca de 745 km² (80%) do seu território são definidos como zona rural: ou seja, dos 931,7 km², apenas 186 km² (20%) constituem a zona urbana. A população na área rural, em 2004, era de 23.000 habitantes.

Dados levantados na EMATER (2006), demonstram o perfil da realidade agrícola do ano de 2005 no município. Estes dados estão organizados nas tabelas 2.16 a 2.19. A lavoura de milho, incluindo o milho safrinha, é a mais extensa do município, sendo 13.000 hectares cultivados no total e cerca de 4.400 produtores.

TABELA 2.16 – CULTURAS, NÚMERO DE PRODUTORES. ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO MÉDIO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NO ANO DE 2005

| LAVOURAS | PRODUTORES (NÚMERO) | | ÁREA (ha) | | RENDIMENTO MÉDIO (kg/ha) | |
|------------------|---------------------|------------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|
| | Existentes | Assistidos | Existente | Assistida | Existente | Assistida |
| Feijão das águas | 1.200 | 300 | 1.200 | 400 | 815 | 1.200 |
| Feijão das secas | 400 | 50 | 4.000 | 50 | 800 | 1.000 |
| Mandioca | 40 | 20 | 20 | 10 | 15.000 | 18.000 |
| Milho | 2.300 | 800 | 8.000 | 3.500 | 3.500 | 5.000 |
| Milho Safrinha | 2.100 | 400 | 5.000 | 2.000 | 3.960 | 7.440 |
| Soja | 7 | | 277 | | 3.00 | |
| Trigo | 4 | | 80 | | 2500 | |
| Camomila | 30 | 10 | 550 | 50 | 350 | 400 |

FONTE: EMATER (2006)

As áreas assistidas são as que possuem um apoio técnico, seja da EMATER, SEAB, ou de um profissional capacitado, onde há um acompanhamento especializado. O rendimento médio da produção pode ser observado nas tabelas, sendo que nas propriedades assistidas por profissionais, pode ser observado um maior rendimento em muitas culturas.

TABELA 2.17 – NÚMERO DE PRODUTORES, ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO DO PLANTIO REFERENTES À OLERICULTURA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NO ANO DE 2005

| CULTURAS | PRODUTORES | | ÁREA CULTIVADA NO ANO (ha) | | RENDIMENTO MÉDIO (kg/ha) | |
|------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|--------------------------|------------|
| | Existentes | Assistidos | Existente | Assistida | Existentes | Assistidos |
| Abóbora | 120 | 40 | 144 | 30 | 20.000 | 25.000 |
| Abobrinha | 200 | 100 | 120 | 70 | 18.000 | 20.000 |
| Alface | 150 | 100 | 450 | 200 | 16.000 | 20.000 |
| Batata doce | 350 | 180 | 525 | 250 | 12.500 | 14.000 |
| Batata salsa | 30 | 10 | 75 | 25 | 13.200 | 17.000 |
| Batata das águas | 50 | 5 | 400 | 70 | 14.500 | 16.000 |
| Batata das secas | 50 | 5 | 200 | 20 | 14.000 | 15.000 |
| Berinjela | 100 | 70 | 18 | 12 | 30.000 | 35.000 |
| Beterraba | 800 | 500 | 800 | 500 | 13.200 | 17.600 |
| Chuchu | 6 | - | 3 | - | 40.000 | - |
| Cebola | 30 | 10 | 10 | 4 | 10.000 | 12.000 |
| Cenoura | 500 | 250 | 470 | 235 | 13.800 | 16.100 |
| Couve – flor | 400 | 200 | 320 | 160 | 30.000 | 32.000 |
| Feijão – vagem | 40 | 20 | 10 | 4 | 12.000 | 14.000 |
| Morango | 100 | 70 | 70 | 40 | 40.000 | 50.000 |
| Pepino | 90 | 40 | 35 | 10 | 20.700 | 23.300 |
| Pimentão | 390 | 150 | 200 | 80 | 30.000 | 35.000 |
| Rabanete | 50 | - | 5 | - | 20.000 | - |
| Salsa | 100 | - | 50 | - | 60.000 | - |
| Repolho | 800 | 400 | 1100 | - | 4.000 | 4.400 |
| Tomate | 120 | 60 | 48 | 24 | 40.000 | 50.000 |
| Aipim de mesa | 40 | 20 | 20 | 10 | 15.000 | 18.000 |
| Inhame | 300 | 120 | 450 | 200 | 11.000 | 12.000 |
| TOTAL | 4346 | 2110 | 4809 | 1644 | 443900 | 381400 |

FONTE: EMATER (2006)

TABELA 2.18 - NÚMERO DE PRODUTORES, ÁREA CULTIVADA E RENDIMENTO DO PLANTIO REFERENTES À FRUTICULTURA COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NO ANO DE 2005

| CULTURA | Nº DE PRODUTORES | | ÁREA PLANTADA EXISTENTE (ha) | | RENDIMENTO MÉDIO (kg/ha) | |
|--------------------------|------------------|------------|------------------------------|-------------|--------------------------|------------|
| | Existentes | Assistidos | C/ produção | S/ produção | Existentes | Assistidos |
| Ameixa | 5 | 5 | 5 | - | 7.000 | 8000 |
| Banana | 41 | 5 | 187 | - | 9.885 | 9.885 |
| Caqui | 10 | 5 | 10 | - | 9.000 | 10.000 |
| Kiwi | 2 | | 3 | - | 15.000 | 15.000 |
| Pêra | 2 | 1 | 2 | - | 5.500 | 6.000 |
| Pêssego | 10 | 5 | 8 | - | 8.000 | 8.000 |
| Uva rústica (vinho/suco) | 40 | 20 | 35 | 5 | 10.000 | 10.000 |

FONTE: EMATER (2006)

TABELA 2.19 - IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

| | Nº PRODUTORES | ÁREA (ha) |
|------------------------|---------------|-----------|
| Várzeas Drenadas | 54 | 215 |
| Irrigação por Aspersão | 1.000 | 1.500 |
| Irrigação Localizada | 70 | 50 |

FONTE: EMATER (2006)

2.3.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto Martinópolis

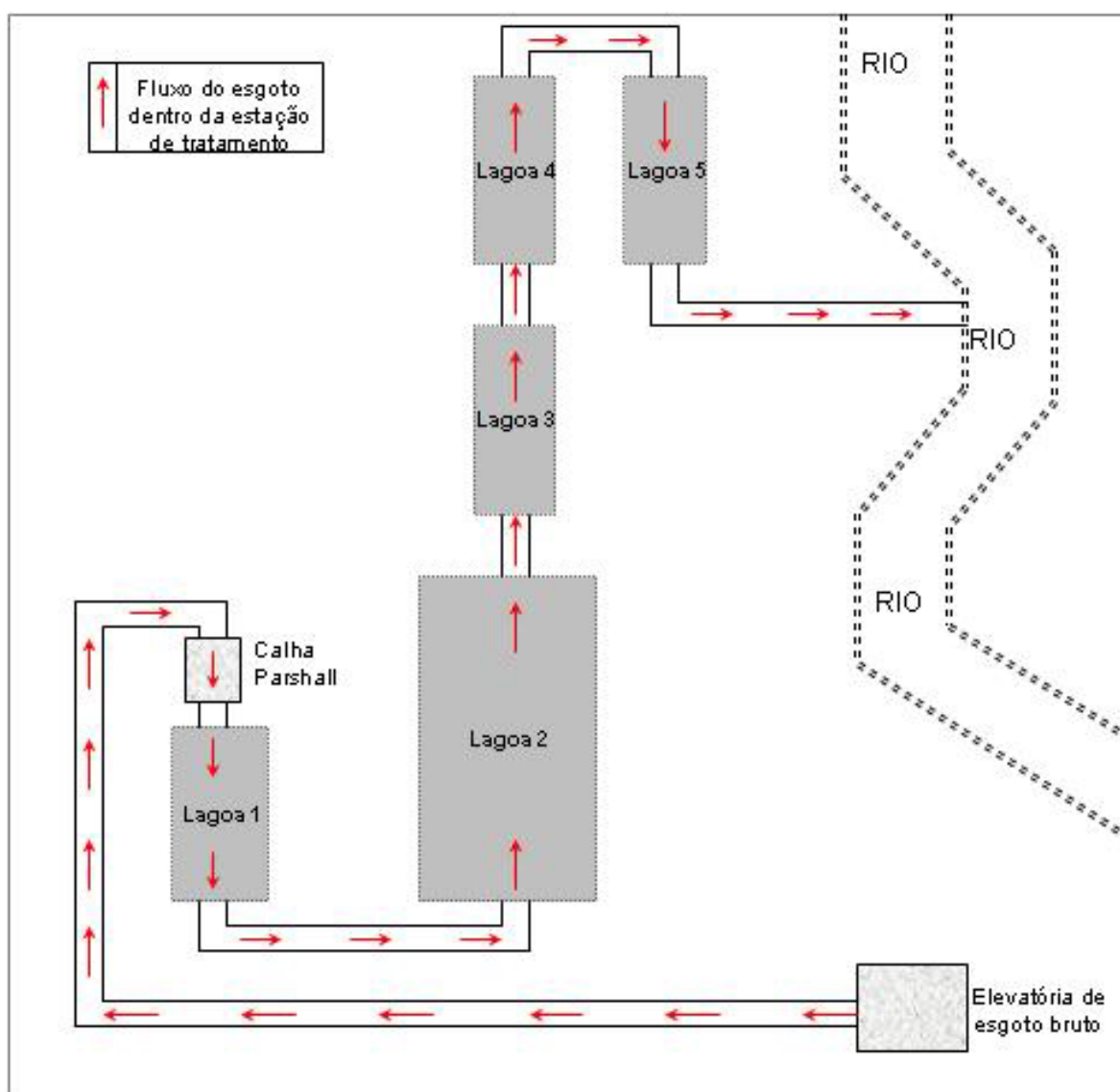
A ETE Martinópolis está situada na bacia do rio Itaqui no município de São José dos Pinhais, divisa com o município de Piraquara. O esgoto nesta ETE é tratado por meio de lagoas de estabilização em série.

Inicialmente o esgoto bruto passa por gradeamento e então é conduzido para a primeira lagoa, uma lagoa anaeróbia, de formato retangular, calculada em função da taxa de aplicação superficial e do tempo de detenção. Essa lagoa tem 87 m de comprimento por 29 m de largura. A profundidade média é de 3,5 m, com tempo de detenção de 5,16 dias. A segunda lagoa é do tipo facultativa, tendo 185,7 m de comprimento, 85,7 m de largura e profundidade de 1,75 m, sendo o tempo de detenção de aproximadamente 11,5 dias.

Saindo da lagoa facultativa, o tratamento segue para três lagoas de maturação em série. As lagoas têm comprimento médio de 105,7 m, largura média de 40,7 m e uma profundidade de 1,70 m, para cada uma o tempo de detenção é de 3,25 dias.

A estação foi projetada para atender uma população de 7.100 habitantes, com uma vazão de projeto de 30 L/s, entretanto a ETE esta operando com a vazão atual de 80 L/s. A Figura 2.4 ilustra o sistema de lagoas da ETE.

FIGURA 2.4 – SISTEMA DE LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS



A Tabela 2.20 apresenta as principais características de projeto da ETE Martinópolis.

TABELA 2.20 –CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DAS LAGOAS DA ETE

| LAGOAS | LARGURA (m) | COMPRIMENTO (m) | PROFUNDIDADE (m) | TDH (DIAS) |
|-------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------|
| Anaeróbia | 29,00 | 87,00 | 3,50 | 5,16 |
| Facultativa | 85,70 | 185,70 | 1,70 | 11,5 |
| Maturação 1 | 40,70 | 105,70 | 1,70 | 3,25 |
| Maturação 2 | 40,70 | 105,70 | 1,70 | 3,25 |
| Maturação 3 | 40,70 | 105,70 | 1,70 | 3,25 |

FONTE: PROJETO TÉCNICO - SANEPAR (2006)

A Figura 2.5 e a Figura 2.6 ilustram a lagoa anaeróbia

FIGURA 2.5 – LAGOA ANAERÓBIA- ENTRADA DO EFLUENTE BRUTO



FIGURA 2.6 – VISTA DA LAGOA ANAERÓBIA



2.3.1.3 Análise Qualitativa da Água Residuária – Análise dos Dados Fornecidos pela SANEPAR

A Tabela 2.21 apresenta os dados relativos concentrações de $DBO_{5,20}$, DQO, na entrada do esgoto bruto no sistema de lagoas e na saída e a remoção média mensal, monitorados de janeiro de 2006 a dezembro de 2006. As amostras foram coletadas duas vezes por mês, na entrada da primeira lagoa e na saída da terceira lagoa de maturação, onde os valores são obtidos através da média das duas coletas.

TABELA 2.21 – VALORES DE DQO E DBO DA ETE MARTINÓPOLIS MONITORADOS EM 2006

| | DQO | | | DBO | | |
|--------------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|
| Mês | Afluentes | Efluentes | Remoção | Afluentes | Efluentes | Remoção |
| | mg/L | mg/L | % | mg/L | mg/L | % |
| Jan | 278 | 170 | 39 | 135 | 75 | 44 |
| Fev | 207 | 182 | 12 | 115 | 30 | 74 |
| Mar | 435 | 133 | 69 | 303 | 57 | 81 |
| Abr | 461 | 135 | 71 | 236 | 78 | 67 |
| Maio | 459 | 82 | 82 | 257 | 41 | 84 |
| Jun | 353 | 181 | 49 | 190 | 135 | 29 |
| Jul | 198 | 90 | 55 | 119 | 48 | 60 |
| Ago | 228 | 122 | 46 | 115 | 97 | 16 |
| Set | 159 | 110 | 31 | 74 | 40 | 46 |
| Out | 366 | 97 | 73 | 191 | 17 | 91 |
| Nov | 282 | 80 | 72 | 166 | 34 | 80 |
| Dez | 377 | 191 | 49 | 116 | 41 | 65 |
| Variabilidade | | | | | | |
| Média | 317 | 131 | 54 | 168 | 58 | 61 |
| Desvio Padrão | 106,2 | 41,1 | 20,5 | 69,0 | 33,3 | 23,3 |
| Valor Máximo | 461 | 191 | 82 | 303 | 135 | 91 |
| Valor Mínimo | 159 | 80 | 12 | 74 | 17 | 16 |
| Amplitude | 302 | 111 | 70 | 229 | 118 | 75 |
| Coefficiente de Variação | 0,34 | 0,31 | 0,38 | 0,41 | 0,58 | 0,38 |

FONTE: ADAPTADO SANEPAR (2006)

Na Tabela 2.22 encontram-se os valores de sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis monitorados mensalmente durante o ano de 2006 no esgoto afluente e efluente do sistema de tratamento por lagoas na ETE, enquanto na Tabela 2.23 estão dispostos os valores de pH e alcalinidade.

TABELA 2.22 – VALORES DE SÓLIDOS SUSPENSOS E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DA ETE MARTINÓPOLIS MONITORADOS EM 2006

| | SÓLIDOS SUSPENSOS | | | SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | Afluente (mg/L) | Efluente (mg/L) | Remoção (%) | Afluente (mL/L.h) | Efluente (mL/L.h) | Remoção (%) |
| Jan | 325 | 35 | 89 | 1,3 | 0,2 | 85 |
| Fev | 38 | 42 | -13 | 0,4 | 0 | 100 |
| Mar | 86 | 80 | 7 | 0,4 | 0 | 100 |
| Abr | 93 | 44 | 53 | 1,7 | 0,2 | 88 |
| Maio | 192 | 73 | 62 | 1,4 | 0,1 | 93 |
| Jun | 183 | 113 | 38 | 1 | 0,1 | 90 |
| Jul | 95 | 58 | 40 | 1,5 | 0 | 100 |
| Ago | 20 | 16 | 19 | 1 | 0 | 100 |
| Set | 77 | 42 | 46 | 0,5 | 0 | 100 |
| Out | 140 | 32 | 77 | 0,1 | 0 | 100 |
| Nov | 89 | 34 | 62 | 1,7 | 0 | 100 |
| Dez | 64 | 50 | 22 | 0,6 | 0 | 100 |
| Variabilidade | | | | | | |
| Média | 117 | 52 | 42 | 1 | 0 | 96 |
| Desvio Padrão | 83,5 | 26,2 | 29,5 | 0,6 | 0,1 | 5,7 |
| Valor Máximo | 325 | 113 | 89 | 1,7 | 0,2 | 100 |
| Valor Mínimo | 20 | 16 | -13 | 0,1 | 0 | 85 |
| Amplitude | 305 | 97 | 102 | 1,6 | 0,2 | 15 |
| Coefficiente de Variação | 0,71 | 0,51 | 0,71 | 0,58 | 1,60 | 0,06 |

FONTE: ADAPTADO SANEPAR (2006)

TABELA 2.23 – VALORES DE ALCALINIDADE E PH DA ETE MONITORADOS EM 2006

| MÊS | ALCALINIDADE | | pH | |
|-----|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
| | Afluentes (mg/L) CaCO ₃ | Efluentes (mg/L) CaCO ₃ | Afluentes | Efluentes |
| Jan | 137 | 89 | 6,65 | 7,98 |
| Fev | 154 | 107 | 7,06 | 8,26 |
| Mar | 221 | 99 | 6,92 | 8,19 |
| Abr | 179 | 95 | 6,76 | 8,16 |
| Mai | 198 | 84 | 7,08 | 7,75 |
| Jun | 192 | 165 | 6,61 | 7,68 |
| Jul | 171 | 212 | 7,32 | 6,96 |
| Ago | 131 | 198 | 7,30 | 7,82 |
| Set | 110 | 155 | 7,04 | 7,75 |
| Out | 108 | 152 | 7,61 | 7,07 |
| Nov | 109 | 134 | 7,23 | 7,48 |
| Dez | 130 | 136 | 7,21 | 8,45 |

FONTE: SANEPAR

2.3.1.4 Análise Qualitativa da Água Residuária - Análise de Coliformes, Fósforo e Nitrogênio

A análise qualitativa do efluente da ETE Martinópolis foi realizada através da análise dos parâmetros monitorados mensalmente na ETE pela SANEPAR, e disponibilizados através do fornecimento de um boletim interno referente ao ano de 2006. As amostras são coletadas duas vezes por mês, na entrada da primeira lagoa (efluente bruto) e na saída da terceira lagoa de maturação (efluente tratado), onde os valores são obtidos através da média das duas coletas.

As análises físico-químicas e microbiológicas do esgoto da ETE foram efetuadas com a finalidade de conhecer suas características e verificar a aplicabilidade do efluente tratado, visto que ainda não são monitorados pela Sanepar, nesta ETE, NTK- Nitrogênio Total Kjeldahl, PT – fósforo total, CTT– coliformes termotolerantes e CT – coliformes totais.

As análises foram realizadas no período de 23 de outubro a 17 de dezembro de 2006 por meio de quatro coletas em três pontos da ETE, onde foi avaliada a eficiência da ETE em relação aos parâmetros citados. As análises das amostras dos efluentes ocorreram no Laboratório Professor Francisco Borsari Netto – LABEAM do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR.

Foram determinados coliformes totais e coliformes termotolerantes utilizando-se o método COLILERT. Esse método baseia-se na tecnologia dos substratos definidos (TSD), onde são empregados nutrientes indicadores ONPG (Ortho-nitrophenyl- β -D-galactopyranoside) para coliformes totais e MUG (4-metilumbelliferyl- β -D-glucuronide) para coliformes termotolerantes, que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor ou sinal quando inoculados ao sistema. Quando as enzimas específicas do CT (Galactosidase) e CTT (Glucoronidase) metabolizam os nutrientes é desencadeada a liberação do radical indicador. A amostra torna-se fluorescente sob luz ultravioleta 366 nm (CLESCERI et al, 2000).

Os três pontos da estação onde foram coletadas amostras são a entrada da lagoa anaeróbia (efluente bruto), entrada da primeira lagoa de maturação e saída da terceira lagoa de maturação. Estes pontos foram denominados P1, P2 e P3 respectivamente, e acrescidos de um número na frente referente a ordem de coleta.

Na Figura 2.7 está ilustrada a diferença de cor do efluente nos três pontos de coleta das amostras.

FIGURA 2.7 - DIFERENÇA DE COLORAÇÃO NAS AMOSTRAS COLETADAS NAS TRÊS LAGOAS



As amostras para análise de CT e CTT foram coletadas em sacos plásticos esterilizados com volume de 100 ml, como pode ser observado na Figura 2.8 e acondicionadas em isopor com gelo para preservação até chegarem ao laboratório.

FIGURA 2.8 –COLETA DE AMOSTRA PARA ANÁLISE DE COLIFORMES E DETALHE DO AMOSTRADOR



No laboratório, a diluição foi feita de acordo com a estimativa inicial de NMP. Foi adicionado um inóculo substrato em 100 mL de amostra, que foi incubada em estufa por 24 horas em temperatura de 35 °C. A leitura na cartela é de acordo com a coloração, sendo que transparente significa negativo para CT e CTT, amarelo é positivo para CT e fluorescente significa positivo para CTT. Os resultados são apresentados em NMP/100 mL.

As formas nitrogenadas, orgânica e amoniacal -Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) foram medidas em mg/L. Na Figura 2.9 e na Figura 2.10 está representada uma das etapas do processo de análise de nitrogênio em laboratório.

FIGURA 2.9 -PROCESSO DE ANÁLISE DE NITROGÊNIO EM LABORATÓRIO - A



FIGURA 2.10-PROCESSO DE ANÁLISE DE NITROGÊNIO EM LABORATÓRIO - B



O fósforo total foi determinado pelo método Espectrofotométrico com cloreto estano. O princípio do método é através do ácido molibidofosfórico, que é formado e reduzido por cloreto estano resultando em uma coloração azul, sendo esta concentração proporcional à de fósforo presente na amostra.

2.3.2 Concepção das Ações de Reúso Agrícola

Foram previstas duas ações de reúso de água na área de estudo para utilização pelo setor agrícola, onde foram consideradas as vazões de demanda, distâncias entre ETE e usuário, qualidade do efluente fornecido pela ETE, custos preliminares e avaliação técnica preliminar.

Para o setor agrícola foi prevista a produção olerícola, que se destaca como cultivo na área de estudo. Então foram estabelecidos os setores de aplicação para cada uso e idealizados cenários possíveis de absorver a oferta de efluentes da ETE. Nesses cenários foram previstos fornecimento da água via caminhões-pipa e através de adutoras.

2.3.2.1 Sistema de Fornecimento de Água de Reúso

Duas importantes variáveis na análise da viabilidade da adoção de soluções de reúso de água são a distância dos pontos de consumo em relação ao local de produção de água e a vazão de demanda.

Foi prevista a distribuição da água de reúso por caminhões-pipa, levando-a até reservatórios instalados na área agrícola e o fornecimento através de uma adutora até cada reservatório.

Para o sistema distribuição através de caminhões-pipa foi calculada a capacidade diária de um caminhão, a quantidade necessária de caminhões para o transporte do volume de água disponível, além do custo dessa distribuição, sendo considerado para essa função dois funcionários para cada caminhão, que são os motoristas, revezando em dois turnos. Para a ação AA 01 o caminhão trafega 16 horas diárias e para a ação AA 02 18 horas por dia, as duas horas a mais de funcionamento são para compensar a distância maior que os caminhões tem que percorrer na ação AA 02 e o tempo a mais.

Os campos da coluna “VARIÁVEL” que tem um asterisco são os que mudam para cada ação, estimados de acordo com as considerações específicas. Os parâmetros utilizados nos cálculos encontram-se na Tabela 2.24. O custo de hora trabalhada para

dois ou mais funcionários foi estimada a partir do custo para um funcionário.

TABELA 2.24 - PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA

| SIGLA | PARÂMETRO | AÇÃO 01 (AA01) | AÇÃO 02 (AA 02) | FONTE |
|------------------|---|-------------------|--------------------|-------|
| C1f | Custo da hora trabalhada para 1 funcionário (R\$) | 20,30 | 20,30 | (1) |
| Ckm | Custo por km rodado (R\$) | 1,67 | 1,67 | (1) |
| Nf | Número de funcionários no caminhão (2 turnos) | 2 | 2 | (2) |
| kmd | km rodados por dia | 120 | 180 | (3) |
| C | Capacidade do caminhão (L) | 8000 | 8000 | (2) |
| Nº v | Nº de veículos necessários para o transporte diário | 23 | 23 | (3) |
| Dm | Dias trabalhados por mês | 24 | 24 | (2) |
| Q _{dcp} | Vazão diária por caminhão-pipa (m ³ /d) | 154,48 | 151,19 | (3) |
| t _c | Tempo de ciclo = $t_{\text{fixo}} + t_{\text{variável}}$ (30+x) min | 35 | 40 | (3) |
| H _t | Horas de funcionamento dos carros | 16 | 18 | (2) |
| f _E | Fator de eficiência | 0,7 | 0,7 | (4) |
| D | Distância da ETE ao reservatório (Km) | 8 | 13 | (3) |

FONTE : (1) DANLURB

(2) Considerado

(3) Estimado

(4) Brito

NOTA: * PARÂMETROS QUE VARIAM CONFORME A AÇÃO

A capacidade diária de um caminhão pipa e o número de veículos necessários para suprir a demanda diária foram calculados através das equações (4) e (5) (BRITO, 2005).

$$Qd_{cp} = \frac{C}{\frac{t_c}{60_c}} \times H_T \times f_E = \quad (4)$$

$$N^{\circ}CP = \frac{Q_n}{Qd_{cp}} = \quad (5)$$

onde,

C = Capacidade do caminhão (L)

Q_{dcp} = Vazão diária por caminhão-pipa

Q_n = Demanda total

t_c = Tempo de ciclo = $t_{fixo} + t_{variável}$

H_t = Horas de funcionamento dos carros

f_E = Fator de eficiência

Para o cálculo dos custos de distribuição foram levantados os dados do sistema com caminhões-pipa. O caminhão-pipa considerado tem capacidade de 8000 L de água e o tanque combustível, a diesel, de 120 L. O rendimento do veículo é de 6 km/L de combustível.

Considerou-se um funcionário por turno, sendo considerados dois turnos, para a realização do transporte da água de reúso até o reservatório. A vazão diária considerada do efluente tratado ofertada para fins agrícolas é de 40 L/s

Da Análise de custos

Para o caso da distribuição de água através de caminhão-pipa são apresentados os custos por quilômetro rodado de R\$ 1,67 e da hora trabalhada para um funcionário de R\$ 20,31, estando inclusos nestes valores encargos administrativos e sociais. Esses valores foram obtidos de processo de licitação do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DEMLURB, 2004 apud MALINOSKI, 2006).

Para a adutora, no caso de custos de manutenção e operação foram consideradas as citações de GOMES (2004), o qual menciona que os custos anuais de operação do sistema de tratamento e distribuição incluem salários, energia elétrica, produtos químicos e pessoal, dependendo do porte e da complexidade da instalação. Assim sendo, este autor sugere um valor de 5% do custo inicial de equipamentos e 2 % do custo inicial de tubulações e reservatórios para manutenção e operação.

Com base no cálculo dos custos de distribuição e reservação, foi obtido o custo total anual durante a vida útil do sistema. A Tabela 2.38 apresenta esses valores, os quais foram obtidos com base nos custos de implantação e manutenção/operação para uma vida útil de instalação de 20 anos e uma taxa de retorno do investimento de 10% ao ano (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Para o atendimento de água para os agricultores, foi previsto o transporte por uma adutora que levaria a água de reúso até um reservatório construído, localizado em um ponto a 8 km de distância da ETE e outro a 13 km da ETE. Deste ponto em diante os usuários seriam responsáveis pelo transporte do efluente tratado.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Da Caracterização da ETE Martinópolis

Nos gráficos 1 a 4, pode se observar a variação dos valores de DBO e DQO durante o seu monitoramento mensal. Ainda da Tabela 2.21 e no Gráfico 3, verifica-se que os valores máximos para DQO e DBO na saída do sistema foram de 191 mg/L para DQO e de 135 mg/L para DBO, valores que ultrapassam o estabelecido pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, o que ocorreu também em outros meses.

GRÁFICO 1 – VALORES DE DQO REFERENTES AO ANO DE 2006

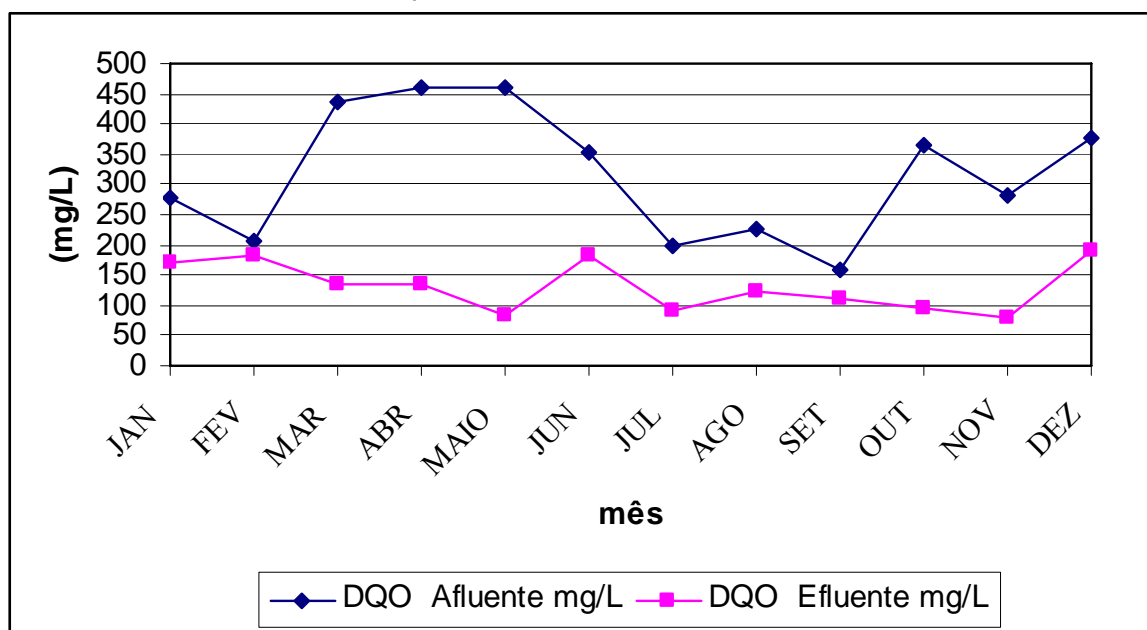


GRÁFICO 2 – PORCENTAGEM DE DQO REMOVIDA

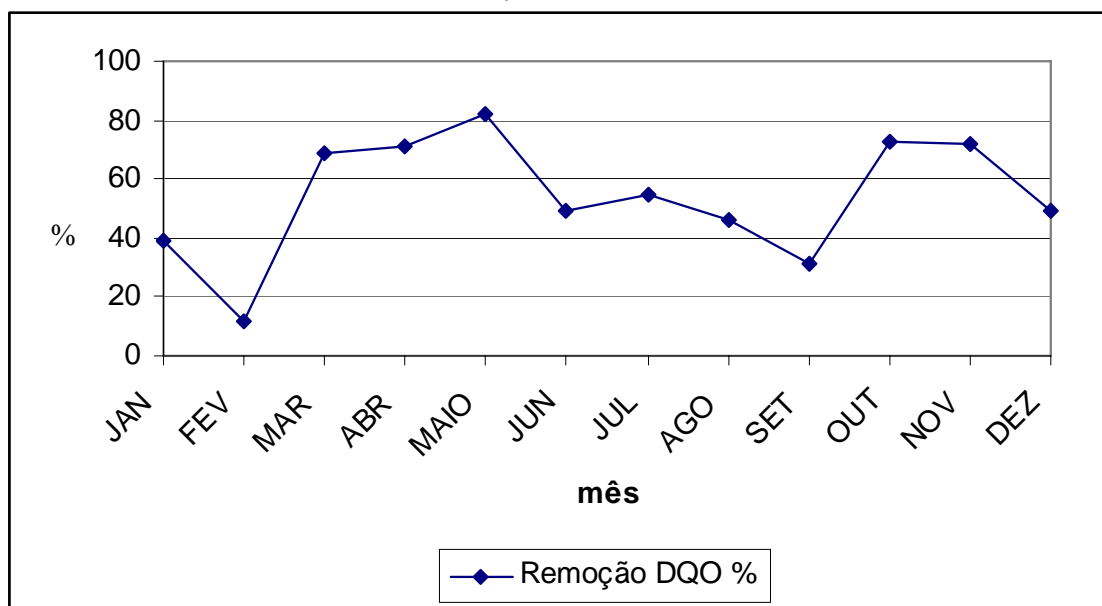


GRÁFICO 3 – VALORES DE DBO REFERENTES AO ANO DE 2006

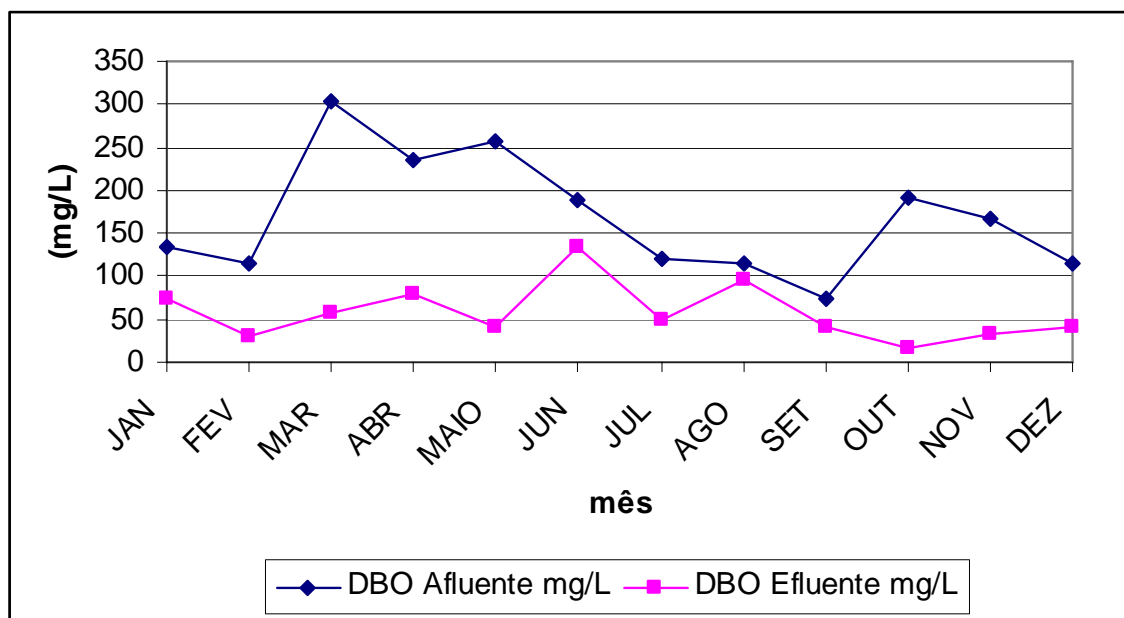


GRÁFICO 4 – PORCENTAGEM DE DBO REMOVIDA

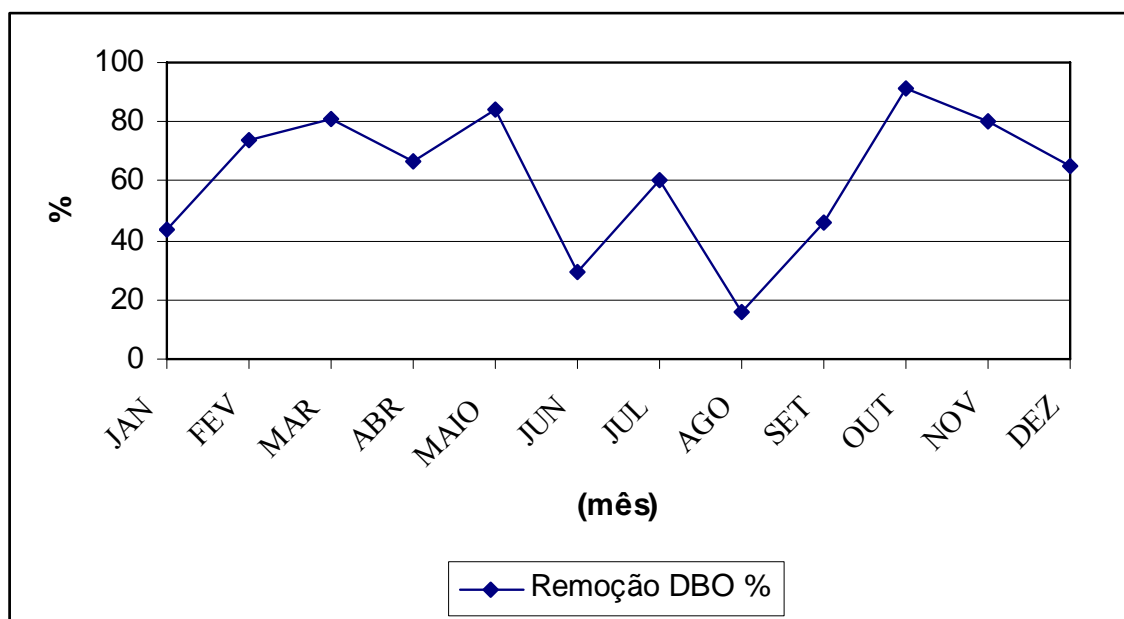


GRÁFICO 5 -VALORES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS REFERENTES AO ANO DE 2006

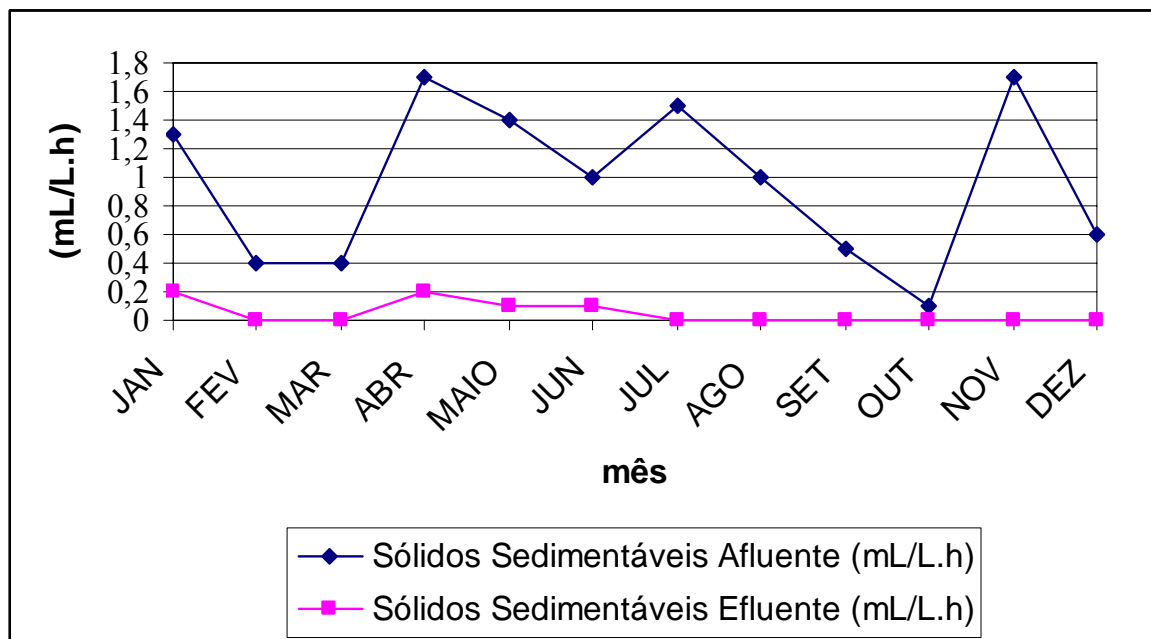


GRÁFICO 6 - VALORES DE SÓLIDOS SUSPENSOS REFERENTES AO ANO DE 2006

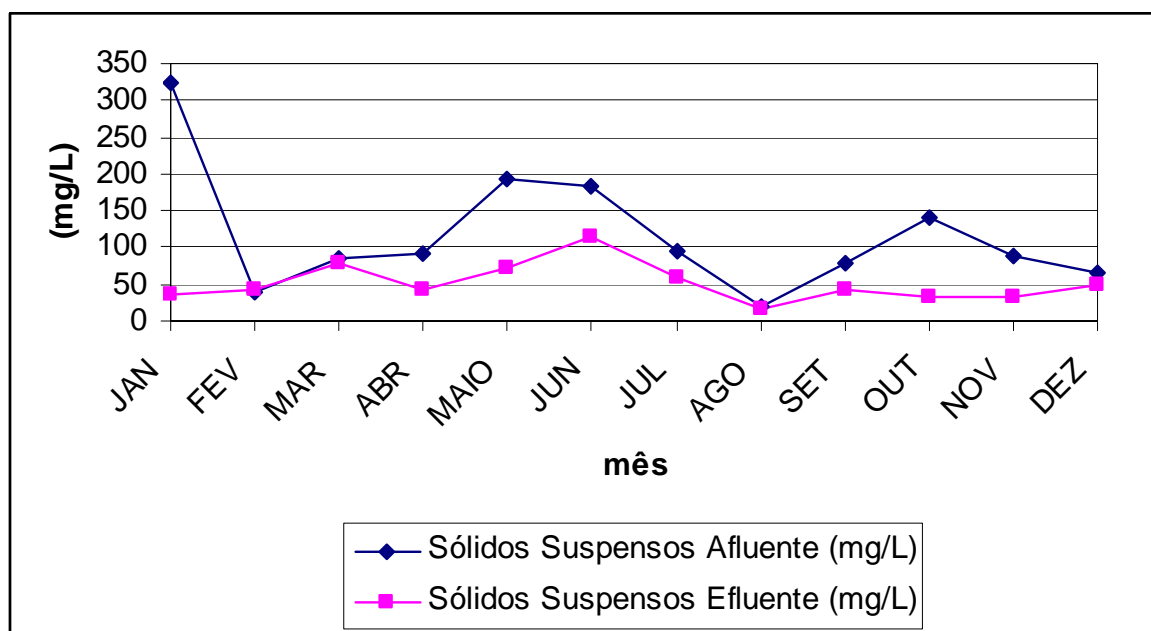
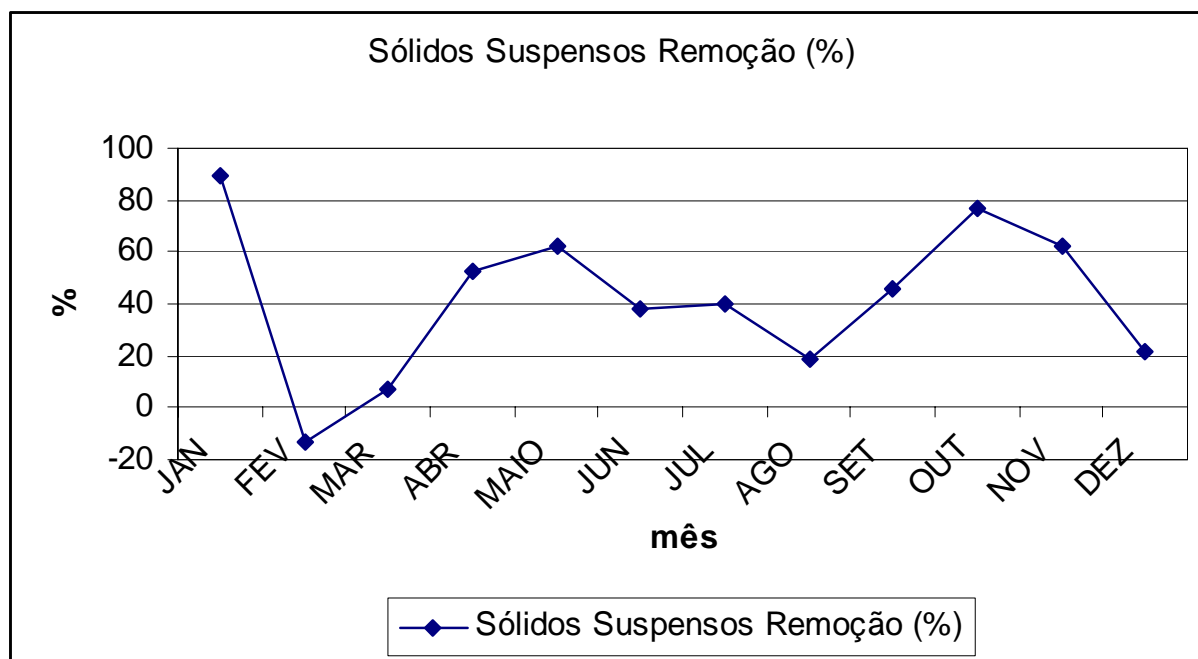


GRÁFICO 7 - % DE SÓLIDOS SUSPENSOS REMOVIDOS



2.4.1.1 Da Análise da concentração de Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio e Fósforo na ETE.

Os valores obtidos das análises de coliformes totais e termotolerantes realizadas encontram-se na Tabela 2.25 e na Tabela 2.26. A Tabela 2.29 apresenta valores de variabilidade dos parâmetros. Os pontos de coleta do esgoto bruto da entrada na lagoa anaeróbia, na primeira lagoa de maturação e na saída do sistema foram denominados P1, P2 e P3, respectivamente. Na

Figura 2.11 estão representados graficamente os valores referentes às análises de CT e CTT.

TABELA 2.25 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS NAS COLETAS 1 E 2

| (NMP/100 ml) | COLETA 1 (24/OUT) | | | COLETA (30/OUT) | | |
|--------------|-------------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | 1P1 | 1P2 | 1P3 | 2P1 | 2P2 | 2P3 |
| CT | 1,78E+07 | 2,41E+04 | 4,23E+03 | 6,02E+07 | 7,92E+04 | 3,43E+03 |
| CTT | 3,36E+06 | 1,10E+03 | 3,10E+01 | 4,33E+06 | 9,40E+03 | 5,20E+01 |

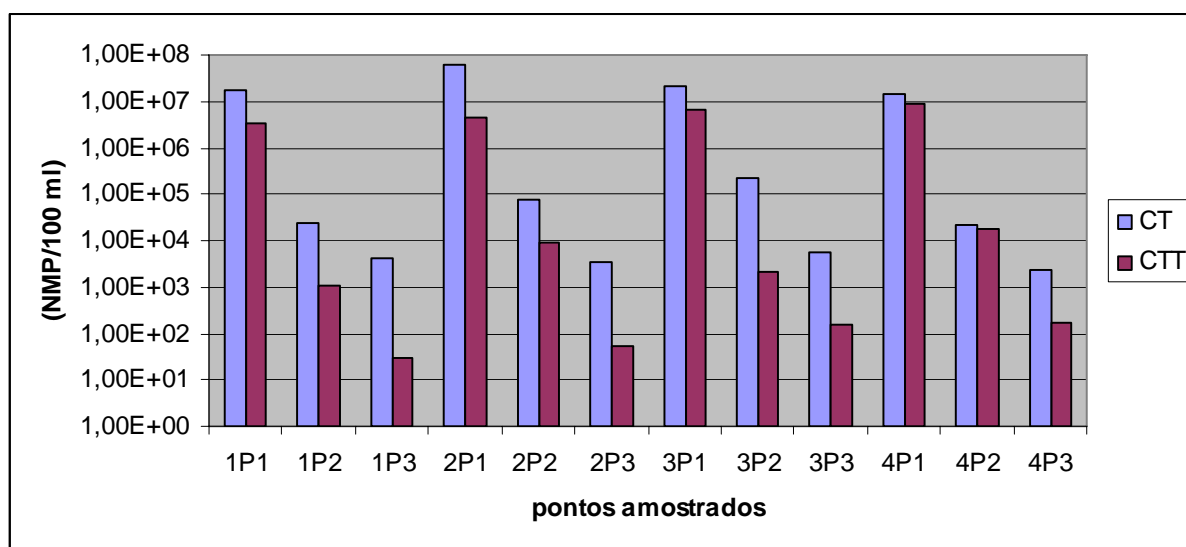
TABELA 2.26 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS NAS COLETAS 3 E 4

| (NMP/100 ml) | COLETA 3 (08/NOV) | | | COLETA 4 (13/DEZ) | | |
|--------------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| | 3P1 | 3P2 | 3P3 | 4P1 | 4P2 | 4P3 |
| CT | 2,04E+07 | 2,28E+05 | 5,49E+03 | 1,45E+07 | 2,09E+04 | 2,24E+03 |
| CTT | 6,57E+06 | 2,07E+03 | 1,61E+02 | 8,89E+06 | 1,77E+04 | 1,75E+02 |

TABELA 2.27 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO, MÁXIMO, MÍNIMO, AMPLITUDE E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES

| | (NMP/100 ml) | MÉDIA | DESVIO PADRAO | MÁX | MIN | AMPLITUDE | COEF. VARIAÇÃO |
|---------|--------------|----------|---------------|----------|----------|-----------|----------------|
| Ponto 1 | CT | 2,82E+07 | 2,15E+07 | 6,02E+07 | 1,45E+07 | 4,57E+07 | 0,76 |
| | CTT | 5,79E+06 | 2,47E+06 | 8,89E+06 | 3,36E+06 | 5,53E+06 | 0,43 |
| Ponto 2 | CT | 8,81E+04 | 9,71E+04 | 2,28E+05 | 2,09E+04 | 2,07E+05 | 1,10 |
| | CTT | 3,59E+03 | 3,90E+03 | 9,40E+03 | 1,10E+03 | 8,30E+03 | 1,08 |
| Ponto 3 | CT | 3,85E+03 | 1,37E+03 | 5,49E+03 | 2,24E+03 | 3,25E+03 | 0,35 |
| | CTT | 1,05E+02 | 7,38E+01 | 1,75E+02 | 3,10E+01 | 1,44E+02 | 0,7 |

FIGURA 2.11 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS



Nas amostras analisadas, observa-se que a concentração máxima de coliformes termotolerantes no efluente bruto foi de $8,89 \times 10^6$ NMP/100ml no ponto 4P1. Na saída da lagoa facultativa (P2), o valor máximo foi de $9,40 \times 10^3$ NMP/100ml e ao final da seqüência das três lagoas de maturação, a concentração máxima de CTT foi de $1,75 \times 10^2$ NMP/100ml, aceitável segundo WHO(2006), conforme pode ser verificado na Tabela 2.9, tanto para irrigação restrita quanto para irrestrita. Os valores

estabelecidos na nova diretriz de WHO (2006) estão mais restritivos que a anterior (WHO,1989), que para irrigação irrestrita, hortaliças consumidas cruas era recomendado valores $< 10^3$ NMP/100ml.

Como já esperado, os valores de coliformes termotolerantes no esgoto bruto foram altos, ou seja, maiores que 106 NMP/100mL em todas as amostragens. O TDH na lagoa anaeróbia é aproximadamente 5,16 dias e na lagoa facultativa de 11,5 dias. Nas três lagoas de maturação em série o TDH total é de 9,75 dias, 3,25 dias em cada uma delas, sendo o tempo de detenção necessário para produção de efluente com < 103 CTT/100 mL é de 15 a 25 dias. O sistema de lagoas da ETE mostrou-se eficiente em termos de remoção de coliformes, atingindo baixas concentrações de CTT no efluente tratado, como pode ser observado na Tabela 2.25 e Tabela 2.26.

A Tabela 2.28, Figura 2.12 e Figura 2.13 apresentam os resultados das análises do efluente da ETE Martinópolis para nitrogênio e fósforo, enquanto a Tabela 2.29 apresenta valores de variabilidade destes parâmetros.

TABELA 2.28 – VALORES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO ENCONTRADOS NO EFLUENTE

| PARÂMETROS | COLETA 1 | | | COLETA 2 | | | COLETA 3 | | | COLETA 4 | | |
|-----------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | P 1 | P 2 | P 3 | P 1 | P 2 | P 3 | P 1 | P 2 | P 3 | P 1 | P 2 | P 3 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 31,10 | 30,18 | 23,78 | 31,28 | 25,52 | 23,05 | 39,33 | 19,21 | 16,46 | 40,25 | 11,89 | 14,18 |
| Nitrogênio Organico (mg/L) | 14,63 | 13,72 | 11,89 | 23,05 | 21,40 | 17,29 | 14,63 | 9,15 | 3,66 | 16,01 | 16,92 | 8,69 |
| NTK(mg/L) | 45,73 | 43,90 | 35,67 | 54,33 | 46,92 | 40,34 | 53,97 | 28,35 | 20,12 | 56,25 | 28,81 | 22,87 |
| FÓSFORO | / | / | 2,18 | 4,42 | 2,62 | 1,87 | 4,1 | 2,41 | 1,30 | 5,83 | 2,94 | 1,55 |

NOTA: / - O parâmetro não pôde ser medido

TABELA 2.29 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO, MÁXIMO, MÍNIMO, AMPLITUDE E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PARA NITROGÊNIO E FÓSFORO ANALISADOS

| | PARÂMETROS (mg/L) | MÉDIA | DESVIO PADRAO | MÁX | MIN | AMPLITUDE | COEF. VARIAÇÃO |
|---------|----------------------|-------|------------------|-------|-------|-----------|-------------------|
| Ponto 1 | Nitrogênio Amoniacal | 35,49 | 4,98 | 40,25 | 31,1 | 9,15 | 0,14 |
| | Nitrogênio Organico | 17,08 | 4,03 | 23,05 | 14,63 | 8,42 | 0,24 |
| | NTK | 52,57 | 4,67 | 56,25 | 45,73 | 10,52 | 0,09 |
| | Fósforo | 4,78 | 0,92 | 5,83 | 4,1 | 1,73 | 0,19 |
| Ponto 2 | Nitrogênio Amoniacal | 21,70 | 7,94 | 30,18 | 11,89 | 18,29 | 0,37 |
| | Nitrogênio Organico | 15,30 | 5,17 | 21,4 | 9,15 | 12,25 | 0,34 |
| | NTK | 37,00 | 9,80 | 46,92 | 28,35 | 18,57 | 0,26 |
| | Fósforo | 2,66 | 0,27 | 2,94 | 2,41 | 0,53 | 0,10 |
| Ponto 3 | Nitrogênio Amoniacal | 19,37 | 4,77 | 23,78 | 14,18 | 9,6 | 0,25 |
| | Nitrogênio Organico | 10,38 | 5,72 | 17,29 | 3,66 | 13,63 | 0,55 |
| | NTK | 29,75 | 9,79 | 40,34 | 20,12 | 20,22 | 0,33 |
| | Fósforo | 1,73 | 0,38 | 2,18 | 1,3 | 0,88 | 0,22 |

FIGURA 2.12 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE NITROGÊNIO NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS

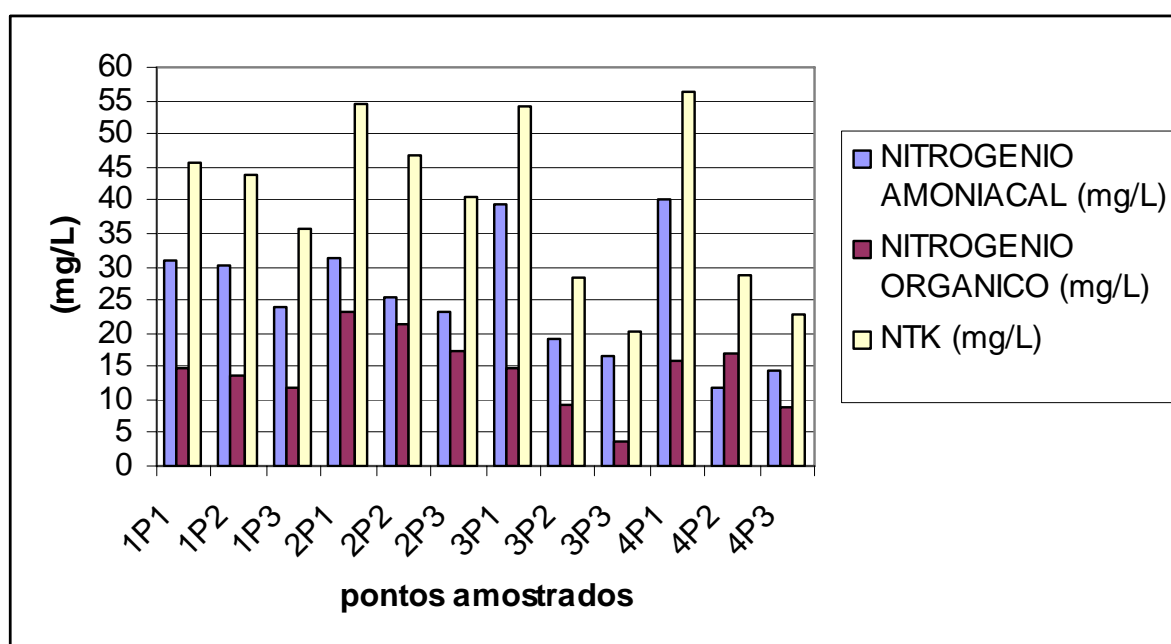
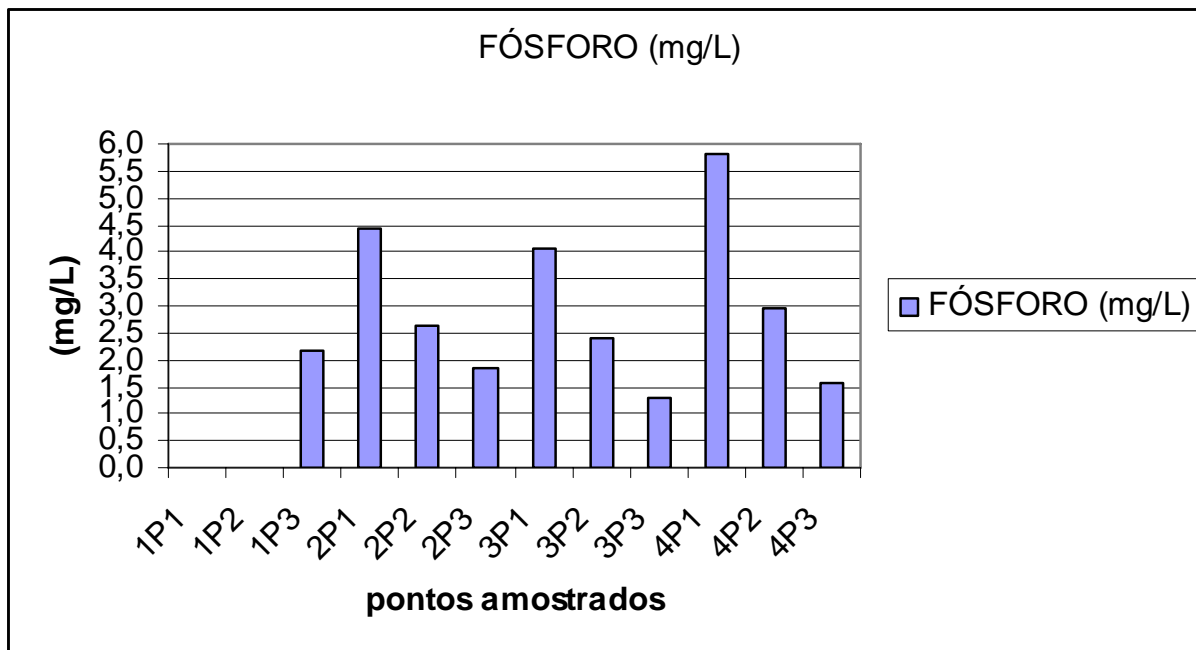


FIGURA 2.13 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FÓSFORO NOS PONTOS AMOSTRADOS NAS LAGOAS DA ETE MARTINÓPOLIS



O NTK no esgoto bruto variou de 45,73 a 56,26 mg/L e de 20,12 a 40,34 mg/L no efluente tratado (saída da terceira lagoa de maturação). Segundo WHO (2006), teores de nitrogênio total abaixo de 5 mg/L podem ser usados sem nenhum grau de restrição, não prejudicando nem mesmo as culturas agrícolas mais sensíveis. De 5 a 30 mg/L a restrição ao uso varia de pouco a moderado e, acima de 30 mg/L o grau de restrição é severo, pois pode ser absorvido pelas plantas, sendo prejudiciais para algumas culturas.

As concentrações de fósforo variaram de 1,30 a 2,18 mg/L na saída do sistema. Não há restrição ao uso de compostos de fósforo na literatura, pois não são prejudiciais às culturas agrícolas.

2.4.2 Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Agrícola

A avaliação qualitativa da reutilização do efluente no setor agrícola tem como base os dados do tópico 2.4.1, da caracterização da ETE Martinópolis.

Na Tabela 2.30 encontram-se dispostos os valores médio, máximo e mínimo encontrados no esgoto bruto e no efluente tratado, na saída da terceira lagoa, obtidos a partir de dados fornecidos pela SANEPAR através do Boletim Anual de Controle Operacional da ETE do ano de 2006.

TABELA 2.30 – PARÂMETROS DA ENTRADA E SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS NO ANO DE 2006

| | AFLUENTE | | | EFLUENTE | | |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| Parâmetros | Máximo | Mínimo | Médio | Máximo | Mínimo | Médio |
| DBO (mg/L) ⁽¹⁾ | 303 | 74 | 168 | 135 | 17 | 58 |
| DQO (mg/L) ⁽¹⁾ | 461 | 159 | 317 | 191 | 80 | 131 |
| SST (mg/L) ⁽¹⁾ | 325 | 38 | 117 | 113 | 16 | 52 |
| SS (mL/L.h) ⁽¹⁾ | 1,70 | 0,10 | 0,97 | 0,20 | 0 | 0,05 |
| pH ⁽¹⁾ | 8,45 | 6,61 | | 8,45 | 7,07 | |
| NTK(mg/L) ⁽²⁾ | 56,25 | 45,73 | 52,57 | 40,34 | 20,12 | 29,75 |
| FÓSFORO (mg/L) ⁽²⁾ | 5,83 | 4,10 | 4,75 | 2,18 | 1,30 | 1,72 |
| CTT (mg/L) ⁽²⁾ | 8,89E+06 | 3,36E+06 | 5,78 E+06 | 1,75 E+02 | 3,10E+01 | 1,04 E+02 |

FONTE: Adaptado SANEPAR (2006)

¹ Valores monitorados durante os 12 meses de 2006.

² Valores medidos a partir de 4 análises realizadas pela autora.

Segundo os critérios de qualidade e limites máximos de impurezas para o uso agrícola apresentados na Resolução nº 357/05 CONAMA, que estabelece para a irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo ingeridas cruas sem remoção de película, a qualidade da água do corpo hídrico deve corresponder as da Classe 1, não devendo ser excedido o limite de 200 CT/100 ml em

80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Para águas residuárias que atinjam os níveis Classe 2, poderão ser aproveitadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas referentes à agricultura restrita. As águas superficiais utilizadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas não podem exceder o limite de qualidade determinado pela nº 357/05 CONAMA. Para coliformes termotolerantes, as águas não poderão exceder 1.000 coliformes por 100 mL e coliformes totais, 5.000 coliformes por 100 mL, em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

De acordo com as diretrizes recomendadas por WHO(2006), para irrigação irrestrita a quantidade de CTT deve ser $< 10^3$ NMP/100ml. A concentração máxima de CTT foi de $1,75 \times 10^2$ NMP/100ml, valor aceitável para os padrões de WHO(2006), o que demonstra a eficiência do sistema de desinfecção por lagoas de estabilização.

Nas diretrizes sugeridas pela EPA (2004), o número de CTT não deve ser maior do que 14/100mL em nenhuma amostra para agricultura irrestrita. Para agricultura restrita, não deve exceder a 800/100 mL, critérios mais flexíveis que os anteriores, de 1994, porém mais rígidos do que os de WHO (2006).

A análise de ovos de helmintos não é realizada na ETE Martinópolis pela SANEPAR por não ser cobrada legalmente. Entretanto essa análise é muito importante quando é visado o reúso da água. De acordo com a literatura mencionada ao longo deste trabalho, o sistema de lagoas em série tem alta eficiência na remoção desses patógenos, sendo que o número provável de ovos é < 1 ovo vivo/ L, respeitando as diretrizes de WHO(2006).

Na Tabela 2.8 , que apresenta as diretrizes de WHO (2006) para a qualidade da água de irrigação, podemos observar que são considerados principalmente os fatores de salinidade, sodicidade e toxicidade de metais pesados. A concentração de sais e sódio na água de irrigação geralmente não é suficiente para prejudicar a produtividade das principais culturas, sendo mais prejudicial o acúmulo contínuo desses elementos no solo. Entretanto, as culturas respondem à salinidade de forma diferente. Algumas culturas possuem uma capacidade maior de adaptação osmótica e conseguem retirar a

água em condições de alta salinidade, produzindo assim rendimentos aceitáveis, enquanto outras culturas podem ter rendimento mais baixo, ou seja, existem diferentes graus de tolerância a salinidade para espécies vegetais diferentes..

O morango é cultivado por muitos produtores rurais da região através da hidroponia. Entretanto verifica-se que o morango é sensível no grau de tolerância à salinidade, não sendo indicado para irrigação com o efluente tratado, pois a condutividade elétrica maior do que $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ pode ocasionar a redução de 33% na sua produtividade, como pode ser observado na Tabela 2.2 situada na página 21 .

São cultivados no município de São José dos Pinhais cerca de 180 hectares de abobrinha, cultura que tem grande tolerância à salinidade. A queda de produtividade pode ocorrer com valores acima de $4,7 \text{ dS m}^{-1}$.

Para HESPANHOL (2003), os critérios de tratamento para reúso agrícola devem ser associados à manutenção da DBO até um máximo de aproximadamente 100 mg/L, para não ocorrem problemas com a absorção de água pelas raízes das plantas; manutenção de nutrientes e também na eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, se disponível, ou de acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde. Entretanto, EPA (2004) recomenda o valor de DBO até 30 mg/L para que haja melhor aceitação por parte dos usuários em irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para agricultura irrestrita.

Dos valores de DBO monitorados pela SANEPAR no ano de 2006 e observados na Tabela 2.21 e no Gráfico 3, verifica-se que o valor máximo do efluente foi de 135 mg/L no mês de junho e o valor médio de 58 mg/L, sendo esse valor máximo prejudicial em relação à absorção de água pelas raízes das plantas. Os parâmetros máximos que são fixados pelo órgão ambiental no Estado, o IAP, para lançamento do efluente no corpo hídrico receptor para DBO, DQO e sólidos suspensos são respectivamente: 60 mg/L, 150 mg/L e 50 mg/L.

Segundo as recomendações feitas por HESPANHOL (2003), as águas residuárias para fins agrícolas devem possuir um pH entre 6,0 e 8,5. Na Tabela 2.23 (pág. 57) podemos verificar que nos 12 meses monitorados em nenhum momento o

efluente apresentou valor acima dessa recomendação, sendo a média do pH de 7,80. Entretanto, WHO (2006) recomenda a faixa de pH entre 6,5 e 8,0. Em quatro meses do ano de 2006 o efluente tratado apresentou valores acima dessa faixa. Conforme AYRES E WESTCOT (1991), os graus de restrição de pH para o uso da água e do efluente de esgoto tratado para irrigação de culturas por aspersão devem ser de 6,5 a 8,4.

Em um experimento onde foi avaliada a produtividade do pimentão, irrigado com águas de diferentes características, SOUSA et al. (2005), constataram que o efluente da lagoa de polimento com pH variando entre 8,5 e 9,8, não disponibilizou nutrientes suficientes para o bom desempenho da cultura do pimentão.

No que se refere aos sólidos em suspensão nas águas de reúso para fins de irrigação, para valores < 50 mg/L não há nenhum grau de restrição ao uso segundo WHO (2006). Na Tabela 2.22, observando os valores para sólidos suspensos monitorados em 2006, podemos observar que a média anual foi de 52 mg/L, sendo que em apenas um mês do ano, em junho, a concentração foi maior do que 100 mg/L. O grau de restrição ao uso é severo nesse valor. Para valores de 50 a 100 mg/L, o grau de restrição para reúso na agricultura é de pouco a moderado, sendo que em quatro meses do ano as concentrações encontradas ficaram nessa faixa.

BLUM (2003) recomenda o valor limite de 30 mg/L, pois o excesso de sólidos pode causar entupimento em alguns sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e danos a sistemas de bombeamento. Na Tabela 2.22 observando-se os valores dos sólidos suspensos, verifica-se que apenas no mês de agosto o valor ficou abaixo de 30 mg/L, podendo de forma geral causar problemas nos sistemas.

Ainda na Tabela 2.22 e nos gráficos 5 e 6, constata-se ter havido grande remoção de sólidos sedimentáveis em todos os meses, com valores abaixo de 1 ml/L, valor recomendado pelo CONAMA nº 357/05.

2.4.3 Avaliação Espacial e Quantitativa do Potencial de reúso dos efluentes da ETE Martinópolis para o setor agrícola

Para a averiguação da possibilidade de reúso dos efluentes da ETE Martinópolis para o setor agrícola, foram consideradas as áreas das bacias do Pequeno e Itaqui, no município de São José dos Pinhais. A olericultura é praticada com maior intensidade nas comunidades de Acioli, Mergulhão, Costeira e parte baixa de Capão Grosso. Há diferentes níveis tecnológicos, com uso de adubos químicos ou orgânicos e defensivos, especialmente fungicidas em todas as propriedades com essa atividade.

Na Tabela 2.31 encontram-se compiladas as informações obtidas a partir da entrevista com os agricultores, da principal cultura, volume de produção, área cultivada, principal fonte de água para irrigação, modo de irrigar e frequência com que esta é realizada e o tempo de permanência dos agricultores na região.

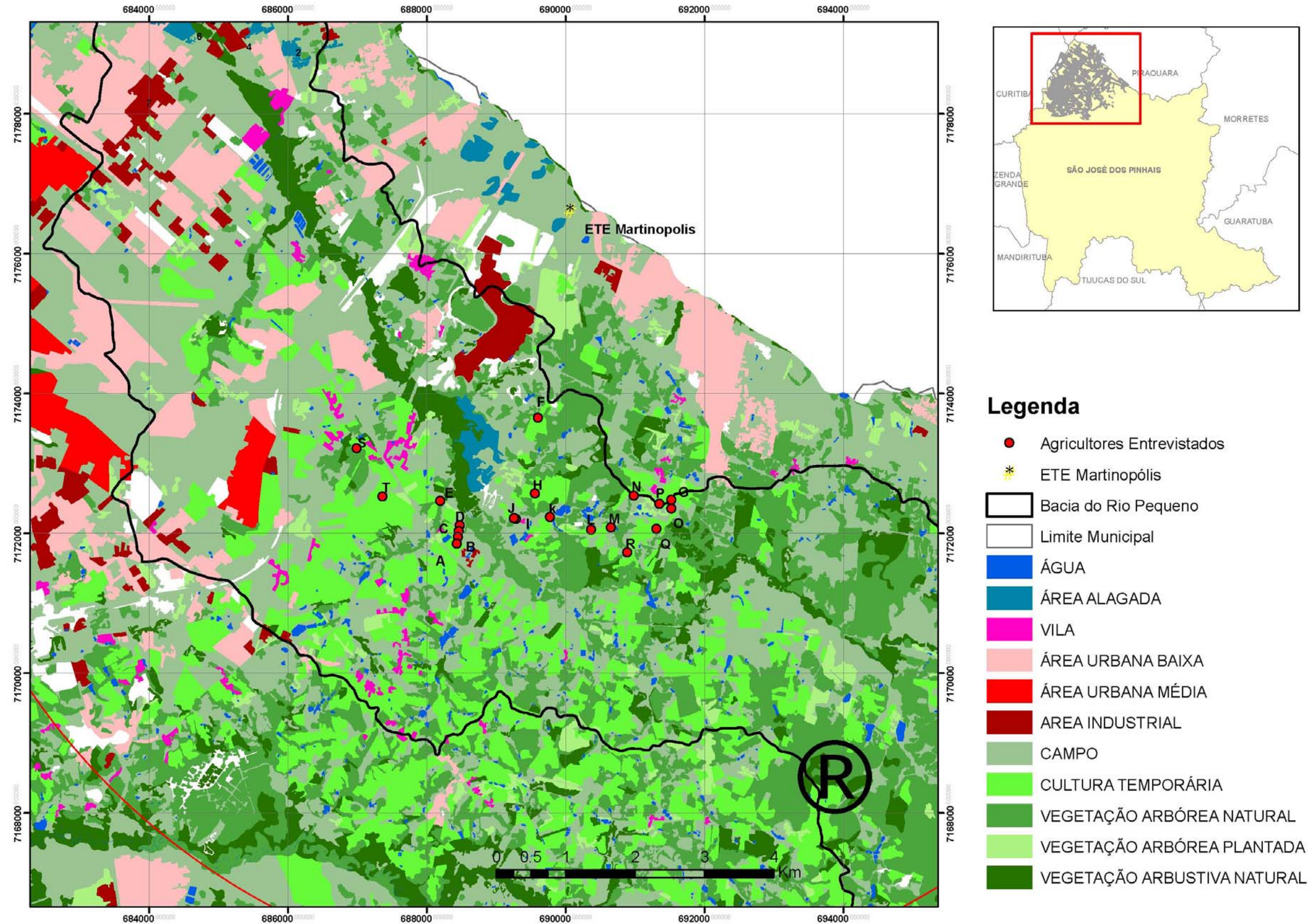
TABELA 2.31 – ÁREA DE CULTIVO E DEMANDA DE ÁGUA PARA PRODUTORES DE HORTALIÇAS VISITADOS NA REGIÃO

| PRODU- TOR | CULTURA | PRODU- ÇÃO (PÉS) | PRODUÇÃO SECUNDA- RIA | ÁREA (HA) | FONTE DE ÁGUA | MODO DE IRRIGAR | FREQÜÊN- CIA | TEMPO (ANOS) |
|---------------|-----------|---------------------|-----------------------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| A | morango | 30000 | | 3,63 | córrego | gotejo | diariamente | |
| B | morango | 70000 | | 4,84 | cavas nascente | gotejo | diariamente | 7 |
| C | hortaliça | | | 3,63 | chuva | não irriga | x | 20 |
| D | hortaliça | | mandioca | 2,42 | nascente | aspersão | 2 x semana | 40 |
| E | hortaliça | 5000 | mimosa | 7 | nascente | aspersão | 3 x semana | 50 |
| F | hortaliça | | | 3,63 | nascente | aspersão | diariamente | * |
| H | hortaliça | | | 7,26 | cava chuva | aspersão | diariamente | 70 |
| I | hortaliça | | milho | 8 | chuva | não irriga | x | 70 |
| J | hortaliça | | | 1,21 | córrego | aspersão | 1 h por dia | 50 |
| K | hortaliça | | gado | 3,63 | nascente | aspersão | 2 x semana | - |
| L | morango | 4000 | hortaliça | 1,21 | poço | não irriga | x | 70 |
| M | hortaliça | | | 3,63 | nascente | aspersão | 3 x semana | 30 |
| N | hortaliça | | gado | 4,84 | chuva | não irriga | x | |
| O | hortaliça | | | 2,42 | chuva | não irriga | x | |
| P | hortaliça | | | 3,63 | chuva | não irriga | x | 70 |
| Q | morango | 40000 | | 2,42 | nascente | gotejo | diariamente | |
| R | morango | 2500 | Uva 500 pés | 10 | poço | gotejo | diariamente | |

NOTA: * arrendado
x eventual

A Figura 2.14 mostra a localização das propriedades dos agricultores entrevistados sobre um mapa de uso e ocupação do solo do município de São José dos Pinhais na Bacia do Rio Pequeno.

FIGURA 2.14 - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO PEQUENO E LOCALIZAÇÃO DOS AGRICULTORES ENTREVISTADOS



Nota-se a proximidade das propriedades rurais com a zona urbana do município, localizada a oeste das propriedades. A zona rural foi sendo ocupada por indústrias e áreas residenciais, perdendo cada vez mais espaço.

Foi observado que o modelo de atividade agropecuária na Bacia do Rio Pequeno é baseado na agricultura familiar, grande responsável pela produção de olerícolas e culturas temporárias. A mão-de-obra nestas pequenas propriedades é familiar, sendo a maior parte dos agricultores proprietária de suas terras, vivendo exclusivamente da agropecuária como modo de subsistência. As propriedades são passadas de pais para filhos e divididas pelas gerações, sendo a maior parte em pequenas propriedades. No passado, a atividade desses produtores era baseada na produção leiteira, porém com as dificuldades encontradas nos últimos 20 anos, essa atividade aos poucos foi sendo substituída pela produção de hortaliças.

A olericultura é mais intensa nas proximidades dos banhados, em função da disponibilidade de água. Entretanto foi observado que muitos produtores da região, na maioria pequenos produtores com áreas plantadas de até 10 hectares, não têm condições financeiras de arcar com custos energéticos. Até mesmo os que utilizam como fonte de água, somente a água de chuva, armazenada em cavas, deixam de irrigar o suficiente em época de estiagem devido aos custos envolvidos com o bombeamento.

A utilização do efluente proveniente da ETE para a região agrícola torna possível o reúso de água da ETE nas áreas agrícolas próximas à mesma. Verificou-se que os pequenos produtores que não irrigam suas culturas acabam perdendo sua produção em época de seca, pois não têm condições de buscar água de outras fontes. Muitas das propriedades da região têm na proximidade pequenos rios e fontes de água, como pode ser observado no mapa da Figura 2.14. Contudo, as águas antes utilizadas para irrigação encontram-se contaminadas de forma que não estão mais disponíveis para consumo e nem recreação, segundo os próprios agricultores.

A irrigação por aspersão é o método de irrigação que predomina no cultivo de hortaliças, o gotejamento foi verificado apenas no cultivo de morangos. Os cuidados

com a qualidade da água aplicada por aspersão devem ser maiores, devido a água ter contato direto com a cultura, podendo contaminá-la. O tratamento sanitário de água para fins de irrigação é um processo caro, que em geral não é utilizado pelos agricultores.

Em relação ao conhecimento dos agricultores sobre a necessidade de obtenção de outorga sobre o uso da água, apenas 3 dos entrevistados disseram ter conhecimento, enquanto os outros desconhecem o assunto. Quando foram informados sobre o que se tratava, disseram não aprovarem a cobrança e não terem condições de arcar com mais um custo.

Em relação à demanda de água nos cultivos, os produtores não souberam informar o quanto consomem, sendo que a frequência e o tempo de irrigação variam muito nas propriedades. Alguns produtores irrigam diariamente em épocas de seca e muito pouco nos períodos chuvosos, enquanto outros irrigam três vezes por semana por 1 hora, ou duas vezes por semana, ou ainda enquanto acharem necessário.

Em relação à aceitação de água residuária tratada para irrigação, os agricultores que dependem apenas da chuva como fonte de água se mostraram mais suscetíveis à sua utilização, porém, não se mostraram dispostos a pagar pela água de reúso.

Na bacia do Itaquí não há atividade agrícola, com exceção de algumas propriedades isoladas. Entretanto, na bacia do Pequeno predomina a produção de hortaliças, que tem como destino, a maior parte, o núcleo urbano da Região metropolitana de Curitiba, onde essa produção é comercializada através do CEASA - Central de Abastecimento. Parte das hortaliças produzidas, muitas vezes, são vendidas diretamente aos clientes, pequenos comerciantes e supermercados da região, e também saem do Estado para serem vendidas em Santa Catarina e São Paulo, e acabam não sendo somadas ao total produzido na região.

Na Tabela 2.32 observa-se que a área de produção agrícola e pecuária do município no ano de 2005 foi de aproximadamente 48.000 hectares, o que corresponde a 49% do total em relação à ocupação do solo. As lavouras anuais ocupam cerca de 58% da área destinada à agropecuária, as lavouras permanentes apenas 0,5%, as pastagens cultivadas 13,6% e as pastagens naturais 27,5%.

TABELA 2.32 – OCUPAÇÃO DO SOLO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS

| TIPO DE USO DO SOLO | ÁREA (ha) |
|---|-----------|
| Lavouras anuais | 28.000 |
| Lavouras permanentes | 250 |
| Pastagens Cultivadas | 6.525 |
| Pastagens Naturais | 13.225 |
| Reflorestamento | 1.600 |
| Matas naturais – Preservação Permanente | 2.500 |
| Matas naturais - outras | 22.500 |
| Outras áreas | 23.000 |
| Total | 97.600 |

FONTE: EMATER (2006)

Verificou-se que o cultivo de hortaliças predomina na área de estudo em relação aos demais cultivos. O município como um todo possui cerca de 1000 produtores em 1500 ha de área irrigada, que utilizam o método de irrigação por aspersão. Em 2005 foram cultivados cerca de 6500 hectares apenas destinados à olericultura, como pode ser observado na Tabela 2.17, página 51. Entretanto, a maior parte dos cultivos não é irrigada. O uso do solo relacionado à bacia do rio Pequeno pode ser observado na tabela a seguir.

TABELA 2.33 – OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO PEQUENO

| USO DO SOLO | ÁREA (ha) |
|-----------------------------|--------------|
| Água | 135 |
| Área Alagada | 180 |
| Subtotal | 315 |
| Área Industrial | 200 |
| Área Urbana Baixa | 633 |
| Área Urbana Média | 62 |
| Vila | 72 |
| Subtotal | 967 |
| Campo | 4158 |
| Cultura Temporária | 1254 |
| Vegetação Arbórea Natural | 4977 |
| Vegetação Arbórea Plantada | 164 |
| Vegetação Arbustiva Natural | 938 |
| Subtotal | 11492 |
| TOTAL | 12773 |

FONTE: Adaptado SUDERHSA (2006)

Na Tabela 2.1 localizada na página 17, pode-se verificar o valor de 10.288 m³/ha ano, equivalente a 28.000L/ha dia, para demanda de água para hortaliças, o que resulta em uma demanda de 486 L/s de água para irrigação por aspersão no município como um todo. A área irrigada por aspersão pode ser verificada na Tabela 2.19.

$$28.000 \text{ (L/ha /dia)} \times 1500 \text{ (ha)} = 42000.000 \text{ L/dia} \cong 486 \text{ L/s}$$

Na ETE Martinópolis, a vazão disponível está em torno de 6.912 m³/dia, sendo que com essa oferta disponível pode-se irrigar uma área de aproximadamente 246 hectares diariamente. Através do levantamento de propriedades agrícolas baseado no mapa de uso e ocupação do solo, através de imagem de satélite e segundo informações da SEAB, as terras cultivadas com produções agrícolas de ciclos curtos,

destinadas a olericultura na maior parte, somam 1.300 ha na área de estudo, praticamente toda a produção agrícola está na bacia do Pequeno.

A demanda de água para a irrigação de hortaliças na área de estudo é em torno de 36.400 m³/dia, ou seja, aproximadamente 420 L/s.

TABELA 2.34 - ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA AGRÍCOLA E DISTÂNCIA MÉDIA DA ETE AOS RESERVATÓRIOS

| GRUPOS | ÁREA CULTIVADA (ha) | DEMANDA (m ³ /dia) | DEMANDA (m ³ /h) | DEMANDA (L/s) | DISTÂNCIA DA ETE (km) |
|--------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------|
| GA1 | 980 | 27440 | 1143 | 318 | 8 |
| GA2 | 320 | 8960 | 373 | 104 | 13 |
| Total | 1300 | 36400 | 1517 | 422 | |

2.4.4 Das Ações de Reuso

Foram previstas duas ações, denominadas Ação Agrícola 01 (AA 01) e Ação Agrícola 02 (AA 02), para os grupos GA1 e GA2 respectivamente. Essas ações se referem principalmente ao modo de distribuição do efluente para o setor agrícola levando-se em conta a demanda de água necessária.

A Tabela 2.34 apresenta a área para cultivo de hortaliças e a demanda de água, tendo sido feita a divisão da bacia do Rio Pequeno em dois setores. Para a previsão da distribuição por adução, foram supostamente construídos dois reservatórios localizados em dois pontos na bacia, distantes 8 e 13 km da ETE Martinópolis.

A demanda necessária para a irrigação do grupo GA1, que compreende cerca de 980 ha de área cultivada, foi estimada em 318 L/s. A oferta do efluente tratado é de 80 L/s, entretanto foi considerada a oferta de 40 L/s, pois, a ETE está trabalhando com valor bem acima do valor de projeto. Essa demanda foi estimada considerando toda a necessidade de água para o cultivo, sem considerar o regime de chuvas e a captação de água de poços por parte dos produtores.

Os parâmetros considerados nos cálculos para a distribuição por caminhão-pipa para as ações AA 01 e AA 02 encontram-se na Tabela 2.24, página 62, os valores obtidos estão na Tabela 2.37. Não foi considerado o preço de aquisição dos caminhões, considerou-se valores de veículos terceirizados.

O custo da hora trabalhada para 2 funcionários (C2f) foi calculado em 24,85 reais. O percurso rodado por dia para um caminhão é de 120 km na ação AA 01, sendo necessários 23 caminhões-pipa para irrigar toda a área. Na ação AA 02, 23 caminhões-pipa também são suficientes, entretanto a distância diária percorrida é maior, 180 km.

Simulando uma vazão de $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ para ambas as ações percebe-se que a alteração nos custos está diretamente relacionada ao número de caminhões-pipa necessários para o transporte.

A princípio não foi recomendado um pós-tratamento, pois o efluente tratado apresenta qualidade satisfatória, apesar de não atender a todas as recomendações de WHO (2006). Apesar disso, pela experiência do reúso de efluentes de lagoas no norte e nordeste do Brasil a sua aplicação na agricultura é viável.

Após o tratamento, o efluente deve ser armazenado em um reservatório, sendo previsto um com capacidade de 500 m^3 . Está prevista uma estação elevatória com conjuntos motos-bombas e transporte por adutora até um reservatório, bem como foram levantados os custos da distribuição por caminhão-pipa. Esse sistema contempla as ações AA 01 e AA 02. Os custos levantados para as ações estão na Tabela 2.35 e na Tabela 2.36. O preço do dólar considerado foi o do dia 22 de janeiro de 2007, sendo 1 dólar 2,58 reais.

A Tabela 2.38 apresenta os custos de distribuição e reservação, custo total anual durante a vida útil do sistema, os quais foram obtidos com base nos custos de implantação e manutenção/operação para uma vida útil de instalação de 20 anos e uma taxa de retorno do investimento de 10% ao ano. O valor do fator de recuperação do capital recuperado foi de 0,1175.

TABELA 2.35 – CUSTOS ANUAIS LEVANTADOS PARA A AÇÕES DE REÚSO AGRÍCOLA AA01

| AÇÃO AA 01 (Q = 40 L/s) | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição | Custo (US\$) | Fonte |
| EE | | |
| Implantação | 128.682 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 6.434 | (5%)x Implantação |
| Adutora | | |
| Implantação | 992.248 | Estimado |
| Manutenção e operação | 19845 | (2%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |
| Distribuição por Caminhão-pipa | | |
| Manutenção e operação | 1.340.918 | |

TABELA 2.36 – CUSTOS ANUAIS LEVANTADOS PARA AÇÃO DE REÚSO AGRÍCOLA AA02

| AÇÃO AA2 (Q = 40 L/s) | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição | Custo (US\$) | Fonte |
| EE | | |
| Implantação | 128.682 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 6.434 | (5%)x Implantação |
| Adutora | | |
| Implantação | 1.612.403 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 32248 | (2%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |
| Distribuição por Caminhão-pipa | | |
| Manutenção e operação | 1.625.003 | |

TABELA 2.37 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÕES AGRÍCOLAS

| | | | | | | | | | CUSTO PARA 1 CAMINHÃO | | CUSTO PARA N CAMINHÕES - $N^{\circ}v$ | |
|---------|---------|------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|----------------|----------------|--------|-----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| AÇÕES | Q (L/s) | Q_n (m ³ /d) | Qd_{cp} (m ³ /d) | $N^{\circ}v$ | C_{km} (R\$) | Km_d (Km) | $C2f$ (R\$) | Ht (h) | Custo Anual (R\$) | Custo Anual (US\$) | Custo Anual (R\$) | Custo Anual (US\$) |
| AA 01 | 40 | 3456 | 154,48 | 23 | 1,67 | 120 | 24,85 | 8 | 124.589 | 58.301 | 2.865.542 | 1.340.918 |
| AA 02 | 40 | 3456 | 151,19 | 23 | 1,67 | 180 | 24,85 | 9 | 150.984 | 70.652 | 3.472.632 | 1.625.003 |
| * AA 01 | 11,57 | 1000 | 154,48 | 7 | 1,67 | 120 | 24,85 | 8 | 124.589 | 58.301 | 872.122 | 408.106 |
| *AA 02 | 11,57 | 1000 | 151,19 | 7 | 1,67 | 180 | 24,85 | 9 | 150.984 | 70.652 | 1.056.888 | 494.566 |

* Simulação para as ações de uma vazão de 1000 m³/d.

TABELA 2.38 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS POR ADUÇÃO

| AÇÕES | CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (US\$) | CUSTO ANUAL DE AMORTIZAÇÃO DO CAPITAL | CUSTO ANUAL O&M (US\$) | CUSTO TOTAL ANUAL (US\$) | VAZÃO (L/S) | VAZÃO ANUAL/1000m ³ (m ³) | CUSTO TOTAL ANUAL POR 1000m ³ / (US\$/1000m ³) |
|-------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|--|---|
| AA 01 | 1.256.589 | 147.598,5 | 28.992,25 | 176.591 | 40 | 1244 | 71 |
| AA 02 | 1.876.744 | 220.441,7 | 41.395,35 | 261.837 | 40 | 1244 | 105 |

2.5 CONCLUSÕES

1) Os resultados encontrados apontam para a viabilidade técnica e econômica para reutilização do efluente da ETE Martinópolis para irrigação agrícola.

2) O sistema de lagoas de estabilização, aqui estudado, se mostrou eficiente na remoção de coliformes termotolerantes, sendo que o TDH é suficiente para a produção de um efluente com concentração $< 10^3$ NMP/100mL. Entretanto, observou-se que a remoção de CT e CTT nas lagoas anaeróbia e facultativa se mostrou equivalente à remoção nas lagoas de maturação, sendo esperado uma remoção maior nas lagoas de maturação. Em relação aos ovos de helmintos, dada a eficácia demonstrada através da literatura da remoção destes em sistemas de tratamentos de efluentes por lagoas de estabilização, podemos presumir que atendem as recomendações de WHO (2006), sendo o reúso de águas residuárias na agricultura viável no que diz respeito à qualidade microbiológica. Os esgotos sanitários podem conter uma grande variedade de microrganismos patogênicos, não restando dúvidas de que a utilização de esgotos em irrigação envolve riscos à saúde. Porém, há muita controvérsia na definição dos riscos aceitáveis, ou seja, na definição do padrão de qualidade e do grau de tratamento que garantam a segurança sanitária. Nesse sentido, assume-se que o cumprimento das diretrizes de WHO (2006) sejam suficientemente seguras.

3) O aproveitamento de nutrientes como o nitrogênio e fósforo provenientes das lagoas de estabilização possibilitam a redução ou ainda a eliminação do uso de fertilizantes artificiais, com conseqüente incrementos na produção agrícola.

4) O Efluente da ETE Martinópolis, por ser de característica doméstica, não industrial não apresenta problemas com presença de metais pesados. De maneira análoga, oligoelementos provavelmente estarão presentes em concentrações abaixo dos teores tóxicos e acima da demanda nutricional da maioria das culturas. Entretanto, todos esses parâmetros devem ser analisados ao se utilizar esse efluente.

5) Adicionalmente, os teores de sólidos ou as características químicas da água residuária podem provocar problemas de entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento ou aspersão, o que exige pré-condicionamento da água de irrigação.

6) São gastos recursos para tratar o efluente com a qualidade para lançamento no corpo receptor, no caso o Rio Itaquí, e muitas vezes os parâmetros não atendem os padrões do IAP, o que pode onerar os custos com multas para a empresa responsável pelo tratamento do efluente e pode contribuir com a poluição do recurso hídrico, em contrapartida o uso deste efluente pode trazer benefícios econômicos para a empresa.

7) Para o uso seguro na agricultura, devem ser monitoradas a condutividade no solo e a sodicidade, bem como deve ser realizado um acompanhamento a qualidade da água subterrânea através da instalação de poços de monitoramento e analisados periodicamente uma gama maior de parâmetros para a caracterização do efluente.

8) O transporte do efluente tratado através de caminhões-pipa pode ser uma alternativa interessante para volumes menores e quando usado para irrigar diretamente as áreas de plantio, ou ainda como solução a curto prazo para suprir a necessidade de água nas plantações, visto que os custos do uso de caminhões-pipa são mais onerosos do que o da adutora.

9) A reutilização dos efluentes domésticos deve ser constantemente monitorada. Trabalhadores que entrarem diretamente em contato com a água de reúso devem utilizar equipamentos de proteção apropriados. Além disso, é necessário que um programa de gestão dos recursos hídricos que contemple a reutilização de águas residuárias tratadas seja implementado. O desenvolvimento de atividades de educação ambiental para as comunidades que utilizam a reutilização de águas residuárias de forma não planejada também é necessário para evitar o uso inadequado da água.

3 ESTUDO DE ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA PARA FINS DE REÚSO URBANO

O propósito deste capítulo é avaliar o potencial de aproveitamento de esgoto tratado pelo setor urbano do município de São José dos Pinhais. Foi feita uma revisão da literatura abordando as experiências de reúso urbano em diversos países, as normas e critérios de qualidade utilizados e o pós-tratamento indicado para adequar aos padrões de qualidade pretendidos.

Através de uma análise quantitativa e qualitativa do efluente da ETE Martinópolis e da demanda de água no ambiente urbano foi possível avaliar o potencial de reúso neste setor em termos quali-quantitativos para utilização em canteiros públicos e lavagem de pavimentos e veículos.

3.1 INTRODUÇÃO

No setor urbano é grande e diversificado o potencial de uso de esgotos sanitários tratados, sendo utilizados em diversos países em aplicações como gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte.

Segundo ASANO (1998), a irrigação de áreas verdes para fins paisagísticos com água de reúso teve um rápido crescimento nos Estados Unidos. A rega de áreas verdes residenciais e comerciais compreende mais de 40 % do total do consumo de água em regiões áridas e semi-áridas, a substituição de água potável por água de reúso, em sistemas duplos de distribuição pode gerar benefícios significativos para as comunidades com fontes de abastecimento de água.

Baseado no potencial de exposição do público em determinadas atividades, as áreas verdes irrigadas com água de reúso podem ser divididas em:

- Campos de golfe, cemitérios, canteiros e cinturão verde.
- Parques, playground e irrigação de jardins de escolas

A utilização de esgotos tratados para a limpeza de ruas está entre um dos maiores potenciais de reúso e já vem sendo realizada em diversas regiões do Brasil.

Isto se deve principalmente a melhor aceitação por parte das pessoas e baixo risco de contaminação, quando respeitados os padrões e diretrizes de qualidade para reúso de águas residuárias, que trazem na sua maioria o enfoque na saúde pública.

A irrigação de áreas verdes abrange parques, jardins públicos, campos esportivos, gramados, além de vias arborizadas. Esta prática oferece muitas vantagens, mas também apresenta alguns problemas em relação aos fatores que condicionam a interação água residual - solo - planta

De acordo com SEMURA et al. (2005), em usos urbanos mais restritos como áreas verdes com acesso limitado ao público, em lavagem de ruas e logradouros, deve ser utilizada água proveniente de tratamento secundário, seguido de filtração e desinfecção, com controle de monitoramento dos lançamentos de efluentes industriais no sistema de esgoto, a fim de garantir a qualidade da água.

Em diferentes tipos de águas residuárias podem variar a qualidade e os contaminantes que podem estar potencialmente presentes, que irão também influenciar no nível de tratamento requerido e, por sua vez, na viabilidade econômica da reutilização destas águas.

3.1.1 Objetivos

3.1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo teve por finalidade analisar técnica e economicamente a utilização de águas residuárias tratadas oriundas da Estação de Tratamento de Esgoto Martinópolis, para reúso urbano, no município de São José dos Pinhais, situado na Região Metropolitana de Curitiba.

3.1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial de aproveitamento de esgoto tratado pelo setor urbano em São José dos Pinhais.
- Propor ações de reúso urbano no município.
- Avaliar economicamente o reúso para as finalidades supra-citadas.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com CROOK (1993), dependendo da forma de reúso da água, seus critérios para a qualidade incluem os seguintes aspectos:

- Proteção à saúde da população;
- requisitos de uso;
- efeitos de irrigação;
- considerações ambientais;
- aspectos estéticos;
- percepção da população ou do usuário;
- realidades políticas.

Estes critérios são baseados em requisitos de usos específicos, em aspectos ambientais e estéticos e na proteção da saúde pública. Os critérios de qualidade são diferentes quando se comparam países industrializados com países em desenvolvimento, devido a diversos fatores como tecnologia disponível, viabilidade econômica, nível geral de saúde populacional.

3.2.1 Experiências no Âmbito do Reúso Urbano

O Japão é líder em reúso urbano/municipal. No país, a maior parte da água de reúso se destina ao uso urbano, cerca de 49% do total produzido, sendo aplicado em irrigação de canteiros públicos, jardins, parques, campos de golfe, para descarga sanitária e também para derretimento de neve. Aproximadamente 31% do total de efluentes tratados são para o reúso ambiental destinados ao aumento da vazão dos rios. O reúso industrial corresponde a 10% do total e apenas 8 % são destinados à agricultura (OGOSHI et al, 2001).

Outra aplicação no setor urbano no Japão é na utilização de energia térmica produzida a partir de efluentes. A variação de temperatura neste país é grande, indo de temperaturas abaixo de zero no inverno a quase 40°C no verão, enquanto a temperatura dos efluentes nas ETEs variam de 12°C a 30°C. A temperatura do

esgoto é conseqüentemente mais baixa no verão e mais elevada no inverno do que a temperatura ambiental. Baseado nesta característica, foi desenvolvido um sistema com troca de calor utilizando o esgoto tratado, obtendo-se economia de energia 20-30% (Governo municipal de Osaka, 2003).

A Austrália, em função de sua condição climática e escassez de água desenvolveu nos últimos anos importantes projetos e ações de reúso de água. O plano estratégico para recuperação e reúso de água de Queensland (Queensland Water Recycling Strategy -QWRS) é um dos de maior destaque. Este plano enfatiza as vantagens econômicas, ambientais e sociais de investir em sistemas de reúso, tanto pelo setor público quanto pelo privado (QWRS, 2001).

Entre os objetivos do plano estratégico incluem-se reformas legislativas, desenvolvimento de normas para estabelecer critérios de qualidade para a água de reúso, estímulo à participação da comunidade em projetos de reúso, bem como à pesquisa e desenvolvimento de centros de capacitação e informação. A participação social é considerada primordial para o êxito do plano, sendo envolvidos representantes de comunidades, de associação de indústrias, centros de educação e agências de águas (QWRS, 2001).

Em Rouse Hill, no Nordeste de Sydney há um projeto onde o efluente tratado é distribuído por sistemas duplos de distribuição, sendo que cerca de 40 mil residências tem sido abastecidos com a água de reúso em substituição à potável em vasos sanitários e rega de jardins (SYDNEY WATER, 2004).

Outro exemplo de reúso urbano no país é na Baía de Homebush, sede dos jogos Olímpicos de Sydney. Aí se encontra um sistema de reúso com fornecimento de até 7000 m³/dia de água residuária tratada para usos em banheiros e rega de jardins. O sistema de tratamento considerado é o processo de micro- filtração e osmose reversa, obtendo-se uma água de alta qualidade (SYDNEY WATER, 2004).

Outro tipo de utilização de água de reúso é o de fabricação de neve artificial para prática de esqui, como ocorre no "Mount Buller Alpine Resort", localizado a 200 km de Melbourne. Um efluente de tratamento secundário é tratado com ultrafiltração,

sendo produzido uma água com qualidade condizente com os critérios da EPA/94 (TONKOVIC et al. 2002).

Em San Petesburg, Flórida encontra-se um dos maiores sistemas de reúso urbano, funcionado desde 1977 e abastecendo cerca de 10 mil usuários. A distribuição de esgoto tratado tem aplicação na irrigação de áreas domésticas, parques de condomínios, escolas, campos de golfe, torres de resfriamento e sistemas de proteção contra incêndios.

O sistema de reúso fornece uma média de aproximadamente 80 mil m³/dia de água de reúso, sendo que a quantidade utilizada depende das condições climáticas, podendo em épocas mais secas ter seu volume aumentado (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF FLORIDA, 2003).

Em Guilbert, Arizona trata-se cerca de 90% do esgoto, tornando-o aplicável para reúso urbano não potável, sendo usado em residências, comércio e indústrias. Há muita informação aos usuários, sendo trabalhado em programas escolares e por meios de comunicação.

O distrito de água de Irvine Ranch, California-EUA implantou desde 1977 um sistema de reúso de efluentes que os distribui através de sistemas duplos. O efluente tratado é utilizado para rega de parques e jardins, usado em lagos ornamentais e para indústrias que utilizam em lavagem de pisos e nos seus processos. O sistema está sendo incrementado para edificações, para ser utilizado em descargas sanitárias (IRWD, 2006).

Na Arábia Saudita o abastecimento de água ocorre mediante fontes convencionais e fontes alternativas, sendo a principal fonte a de águas subterrâneas. A cidade de Riad, situada no centro da Arábia Saudita é uma região árida que abrigava, em 2002, cerca de 3,8 milhões de habitantes. Em vista das condições de escassez de água, a fonte de abastecimento principal nesta cidade é a água do mar, que passa pelo processo de dessalinização e as águas subterrâneas. Dos quase 130 mil m³/dia de efluentes tratados em sistemas de reúso, 91% são para reúso agrícola, 7% para sistemas de refrigeração em indústrias e o restante para reúso urbano. A proposta de

estratégia para o desenvolvimento de Riad é que no ano de 2021 cerca de 50% do reúso de água seja para o sistema urbano (LEWIN et al, 2002).

No que diz respeito ao reúso urbano no país, o Estado de São Paulo é o que possui maior experiência e maior oferta de água de reúso para este fim. Na Região Metropolitana de São Paulo o reúso planejado vem sendo realizado pela Sabesp desde 1997. Inicialmente, a utilização da água de reúso ocorreu nas próprias dependências da companhia, com o uso em diversas fases do processo nas estações de tratamento, para quebra de espuma, diluição, lavagens, selagem dentre outros.

A partir da ETE Jesus Netto, em 1997, foi implantado o primeiro sistema de reúso, com o fornecimento de 23 L/s, via rede para a indústria Coats Corrente, que utiliza o efluente tratado no processo de lavagem e tingimento de seus produtos. A economia chegou a 70 mil litros de água por hora. Em 2005, a fornecimento já estava em 30L/s. Os parâmetros da água de reúso foram definidos de acordo com as necessidades da empresa, sendo acompanhados e monitorados continuamente (SILVA e FLORIO, 2005).

GIORDANI (2002), abordou a irrigação urbana em Curitiba e região metropolitana, sendo apontado um grande potencial na utilização de efluentes domésticos tratados na limpeza urbana, irrigação paisagística e em parques principalmente da cidade, não procedendo do mesmo modo nos municípios da região metropolitana.

GOHERINGER (2005) analisou em seu estudo as possibilidades de uso do efluente da ETE Cambuí na área urbana e industrial no município de Campo Largo. Em relação à limpeza de ruas, verificou-se que não há demanda expressiva para o uso do efluente, pois o município tem bons índices pluviométricos e não realiza a lavagem de ruas, feiras-livres e cemitérios.

Na pesquisa realizada por BRITO et al. (2005), utilizou-se o efluente da Estação de Tratamento de Esgotos do Município de Serra Negra do Norte/RN, composta de um conjunto de três lagoas de estabilização, sendo uma facultativa e duas de maturação dispostas em série, onde foram analisados os custos de implantação de

dois sistemas distintos para o plano de reutilização das águas residuárias na irrigação urbana na cidade: irrigação por aspersão e manual, utilizando caminhões- pipa.

Os critérios adotados no estudo foram: coliformes termotolerantes < 10 NMP/100 mL, cloro residual $> 0,6$ mg/L (tempo de contato de 30 minutos), pH entre 6 e 9, condutividade elétrica ≤ 3 dS/m, Nitrogênio amoniacal ≤ 40 mg/L, fósforo solúvel ≤ 15 mg/L, adotados do Consorcio de la Costa Brava, na Espanha, para irrigação de campos de golfe. O sistema de pós-tratamento proposto pelos autores para o reúso em irrigação urbana é composto de uma unidade de filtração lenta seguido de desinfecção.

Em relação à distribuição da água de reúso em um cenário urbano, BRITO et. al.(2005) analisaram comparativamente os custos dos sistemas de irrigação por aspersão e por sistema manual com caminhões-pipa, utilizando como base de referência o memorial descritivo do Plano de Pós Tratamento e Reutilização Integral das Águas Residuárias Tratadas de Serra Negra do Norte.

Nos custos de implantação o sistema de irrigação manual foi 42,18% menor em relação à irrigação por aspersão, e a rede de distribuição na irrigação por aspersão correspondeu a 49,04% do valor total do sistema e 84,83% do valor correspondente ao sistema de irrigação manual por caminhões-pipa. Isto posto, os autores, concluíram que é viável a alternativa de irrigação manual com caminhões-pipa no município.

3.2.2 Normas e Critérios de Qualidade de Esgotos para Usos Urbanos

No Brasil, ainda estão sendo desenvolvidos padrões, normas e códigos de prática de reúso baseadas em diretrizes internacionais e baseadas nas experiências nacionais

A EPA publicou, em 2004, o documento *Guidelines for Water Reuse*, onde se encontram as diretrizes. A Tabela 3.1 apresenta as diretrizes publicadas pela EPA 2004 para reúso de água onde foram examinadas as formas de uso de efluentes tratados, atualizando a publicação de 1992. Nos Estados Unidos há regulamentações estaduais específicas para o reúso de água em diferentes estados.

TABELA 3.1– CRITÉRIOS E DIRETRIZES SUGERIDAS PELA EPA (2004) PARA REÚSO DE ÁGUA URBANO IRRESTRITO

| TIPOS DE REÚSO | QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO | TRATAMENTO | DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA | COMENTÁRIOS ⁽¹⁾ |
|--|--|--|---|---|
| Urbano Todos os tipos de áreas paisagísticas para irrigação (Ex.: campos de golfe, parques, cemitérios). Também lavagem de veículos, descarga sanitária, sistemas de proteção contra incêndio, ar condicionado e outros usos com acesso ou exposição similar a água. | pH = 6 a 9; DBO _{5,20} ≤ 10 mg/L ; Turbidez= 2 UT ⁽²⁾ ; CTT – não detectável ⁽³⁾ ; Mínimo de 1 mg/L de cloro (Cl ₂) residual ⁽⁴⁾ | - Secundário - Filtração - Desinfecção | 15 m de poços para abastecimento de água potável. | (a) Para o reúso urbano, a água de reúso não deve possuir odor e cor. (b) Para agricultura irrestrita, altos níveis de nutrientes podem causar efeitos adversos durante certas fases de crescimento das plantas. |

FONTE: EPA (2004)

(1) São recomendados para proteger os suprimentos de água potável de contaminação e os seres humanos de riscos desnecessários; (2) Deve ser alcançado antes da desinfecção; (3) O número de CTT não deve exceder 14/100 mL em nenhuma amostra; (4) O total de cloro residual deve ser atingido após um tempo de contato mínimo de 30 minutos.

A Sabesp propõe para aplicação aos usos urbanos mais restritos, abrangendo áreas verdes com acesso limitado ao público, faixa decorativa ao longo das avenidas e lavagem de ruas e logradouros, a utilização de água proveniente de tratamento secundário, seguido de filtração e desinfecção, com cuidados e rigidez no monitoramento e controle dos lançamentos de efluentes industriais no sistema de esgotos, a fim de manter a preservação do tratamento de esgotos e a garantir a qualidade final da água de reuso (SEMURA et al, 2005).

Os parâmetros adotados basearam-se na norma espanhola, do Consorcio de la Costa Brava, sendo que o país já opera seis plantas (ETEs) que fornecem água de reúso para aplicação direta urbana não potável nas cidades de Madrid e Murcia. Na Tabela 3.2 encontram-se os parâmetros adotados e as considerações (SEMURA et al, 2005).

TABELA 3.2- PARÂMETROS DE REÚSO URBANO UTILIZADOS PELA SABESP E CONSIDERAÇÕES PARA SUA ADOÇÃO

| PARÂMETROS | FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO | CONSIDERAÇÕES |
|---|--|---|
| Cloro Residual Livre (CRL): - 2 a 10 mg/L | Monitoramento contínuo; | Considerou-se a faixa de 2 a 10 mg/L, pois existe maior probabilidade de inativação de vírus em concentrações superiores a 5 mg/L. Porém, para utilização em irrigação de áreas verdes deve-se efetuar a “descloração” da água de reúso, para valores inferiores a 5 mg/L. |
| DBO<25 mg/L: | DBO: em 95% das amostras, com frequência semanal | Tecnicamente, valores muito elevados de DBO devem ser controlados para evitar o desenvolvimento de microorganismos e maus odores, principalmente em dias muito quentes. |
| SST<35 mg/L: | Em 95% das amostras, com frequência semanal | A presença de concentrações elevadas de sólidos pode levar ao desenvolvimento de maus odores, devido à degradação, eventualmente anaeróbia, desses sólidos. Os sólidos podem também servir de substrato para o desenvolvimento de microorganismos e outros vetores associados à transmissão de doenças. |
| Turbidez<20 UT: | Monitoramento contínuo | Não só por questões estéticas, mas também como indicador da presença de sólidos e matéria orgânica, que servem de proteção aos microorganismos na desinfecção. |
| Coliformes Termotolerantes <200 NMP/100 mL | 3 vezes por semana, sendo que, 80% das amostras devem estar dentro do limite especificado. | Critérios baseados no Conama n ^o 20, EPA (1998) e OMS (1989) |
| pH | Monitoramento contínuo. | - |
| Helmintos (ovo/l) | - | (1) |
| Óleos e graxas | Virtualmente Ausentes | - |

FONTE: SEMURA et al. (2005)

(1) Ovos de helmintos não são monitorados pela SABESP

Para que a água de reúso possa ser utilizada, é necessário adequar as suas características aos padrões de qualidade compatíveis com os usos pretendidos, o que é feito por meio da utilização de operações e processos unitários de tratamento, que sejam capazes de remover os contaminantes presentes aos níveis aceitáveis.

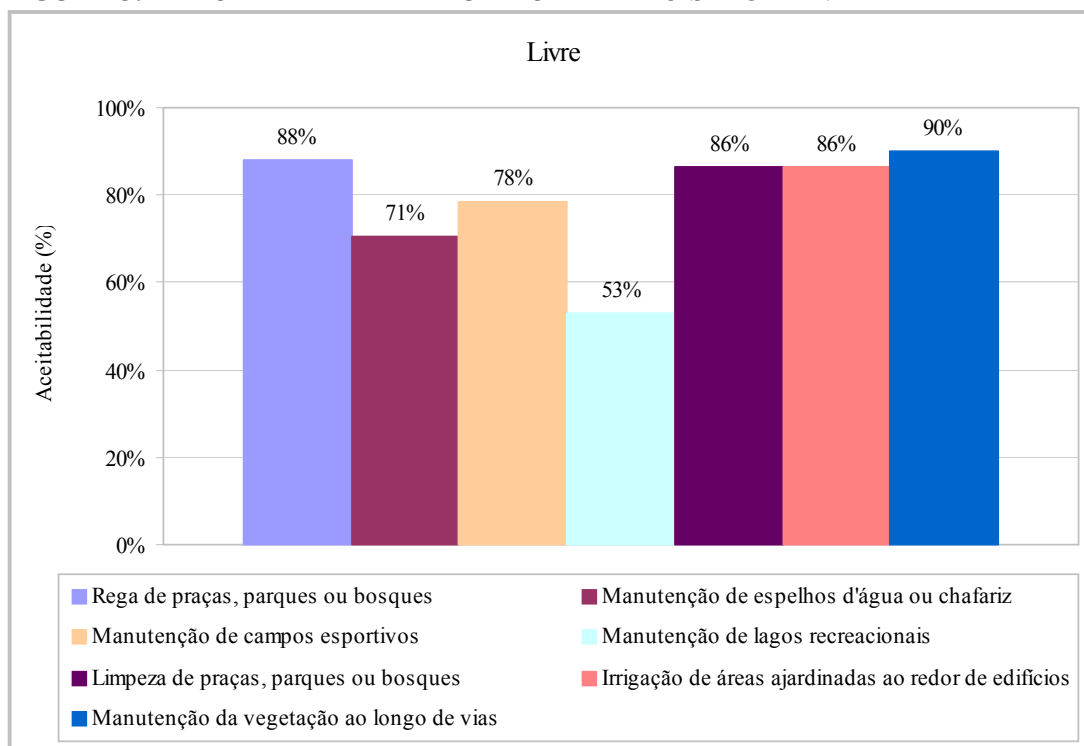
3.2.3 Aceitabilidade do Reúso de Água

Através de questionário aplicado para a população de Curitiba e região metropolitana, MALINOWSKI (2006) avaliou a aceitabilidade em relação ao reúso de água no meio urbano sendo que a finalidade deste estudo foi à verificação da reação da população frente à proposta de reúso de água.

No que diz respeito à aceitabilidade do reúso em atividades realizadas em meios públicos (livre), como a rega de praças, parques e bosques, manutenções de campos esportivos ou espelhos d'água, a média foi superior a 80%. Para a rega de canteiros públicos, ou manutenção da vegetação ao longo das vias, a aceitabilidade foi de 90 %. A maior rejeição foi referente à manutenção de lagos recreacionais.

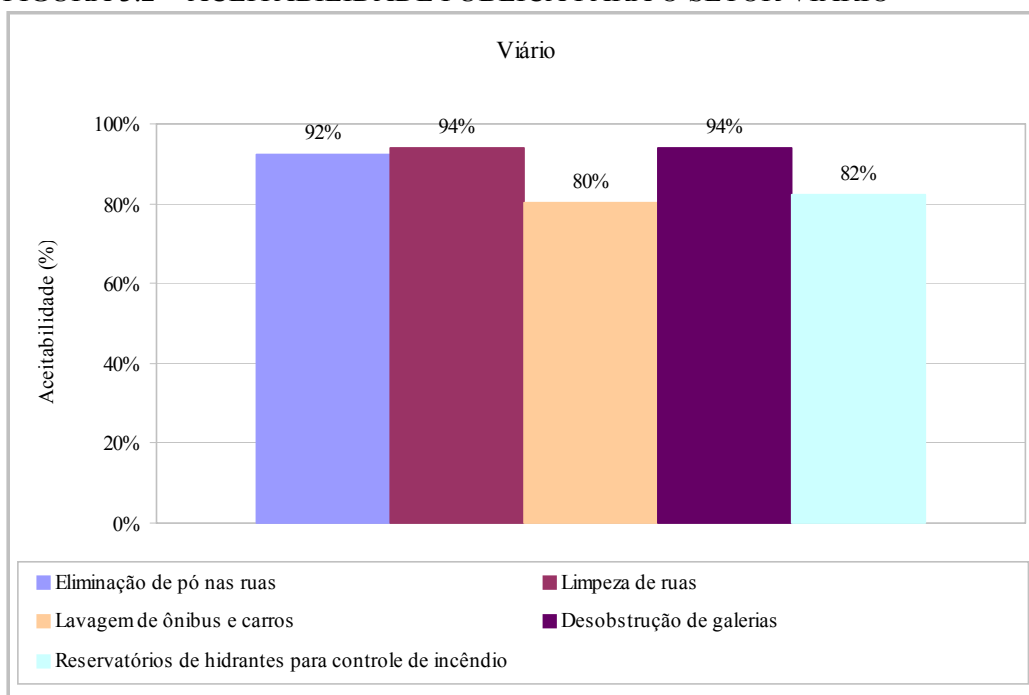
A Figura 3.1 e a Figura 2.3 retratam os resultados da aceitabilidade no reúso urbano, divididos em setor livre e viário.

FIGURA 3.1 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR LIVRE



Fonte: MALINOWSKI (2006)

FIGURA 3.2 - ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA O SETOR VIÁRIO



Fonte: MALINOWSKI (2006)

3.2.4 Tratamento Recomendado para Reúso Urbano

Há diferentes níveis de qualidade requeridos para a água em aplicações diversas. Para reúso urbano WHO (2006), EPA (2004) recomendam tratamento secundário, seguido de filtração e desinfecção.

Uma das alternativas de tratamento em nível terciário é o físico-químico, com o uso da coagulação, floculação, filtração e desinfecção.

O tratamento avançado de águas residuárias visando o reúso é um processo de múltiplas barreiras cujo grau de complexidade vai desde a simples adição em pequenas doses de cloreto férrico e polímeros no tratamento primário até a adoção de processos unitários sofisticados como osmose reversa, troca iônica, membranas filtrantes, etc., dependendo da qualidade do efluente requerida para determinado uso. O número de processos unitários envolvidos varia de acordo com a escolha dos coagulantes na seqüência de tratamentos (PIMENTEL, 2004).

A utilização de processos químicos é recomendada quando o emprego de processos físicos e biológicos não atendem ou não atuam eficientemente nas

características que se deseja reduzir ou remover. A remoção de sólidos por simples sedimentação pode alcançar níveis elevado se for auxiliada por uma precipitação química (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Os tratamentos avançados de esgotos, dentre os quais os tratamentos físico-químicos incluem a coagulação e floculação químicas removendo poluentes que não são adequadamente removidos por processos convencionais.

Segundo METCALF e EDDY(2003), mediante precipitação química, é possível conseguir efluentes clarificados basicamente livres de matéria em suspensão ou em estado coloidal chegando-se à eliminação de 80 a 90 % de matéria em suspensão total, 40 a 70 % de $DBO_{5,20}$, 30 a 60 % de DQO e entre 80 a 90 % de bactérias. O potencial de eliminação de fósforo e de turbidez é da ordem de 50 %.

Segundo DI BERNARDO (2003), o tipo de coagulante e a dosagem necessária para promover a desestabilização das partículas devem ser definidos a partir de investigações experimentais, sendo o diagrama de coagulação ferramenta indispensável em função da importância da coagulação no desempenho das unidades de filtração.

A filtração é um processo de separação sólido-líquido, no qual as partículas suspensas e coloidais são separadas da fase líquida por sua passagem através de poros do meio e vão se acumulando sobre a superfície dos meios porosos. (BRITO, 2005).

A filtração direta pode ser empregada em três configurações básicas distintas: filtração direta ascendente, filtração direta descendente com ou sem pré-floculação e, ainda, dupla filtração. O mais utilizado, para águas residuárias, é de fluxo descendente (METCALF e EDDY, 2003).

De acordo com BRITO (2006), o filtro empregado para a filtração de águas residuárias é do tipo rápido, semelhante aos usados em águas potáveis, diferenciando-se no tamanho do material filtrante e na intensidade e frequência da lavagem, onde são usados normalmente areias de grão relativamente grandes, antracite, pedra pomes e granulados plásticos.

No estudo realizado por RAJALA et al. (2003), utilizando a filtração direta de efluente secundário em filtro descendente, operando em taxas de filtração de 5 m/h e 10 m/h, foram obtidas remoções de até 96 % para sólidos em suspensão, 84 % para turbidez, 35 % para cor, 52 % para DQO, 33 % para fósforo, 56 % para coliformes termotolerantes.

A desinfecção consiste na eliminação seletiva de microorganismos patogênicos presentes na água residuária, incluindo bactérias, protozoários e vírus, além de algas, através da ocorrência da: destruição da estrutura celular, interferência no metabolismo com inativação de enzimas, interferência na biossíntese e no crescimento celular evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e co-enzimas.

O cloro é o agente inativador de organismos patogênicos presentes em esgotos sanitários mais econômico e difundido na desinfecção.. Contudo, alguns de seus compostos podem gerar subprodutos tóxicos de efeitos crônicos à saúde humana e ao meio ambiente. A adição do cloro pode ocasionar efeitos secundários prejudiciais, pois ao reagir com a matéria orgânica pode levar à formação de substâncias cancerígenas, como os THM (LAPOLLI et al, 2003).

Em um estudo realizado pela Universidade de São Paulo (USP/FSP) teve como objetivo estudar a desinfecção de efluentes oriundos de lagoas facultativas com hipoclorito de sódio. A pesquisa ocorreu em escala piloto no sistema da Sabesp do Município de Lins, SP durante dois anos (GONÇALVES, 2003).

A unidade piloto era constituída de tanque de contato com chicanas verticais e a solução de hipoclorito foi aplicada na linha de recalque dos efluentes para o tanque, proporcionando boas condições de mistura. O tempo de contato variou entre 10 e 50 minutos e a dosagem de cloro, entre 2 e 15 mg/L.

Os efluentes apresentaram características variáveis ao longo do tempo em que foram realizados os ensaios, sendo que a eficiência elevada sempre esteve condicionada à presença de cloro residual nos efluentes do tanque de contato. Não houve formação de trihalometanos nos testes realizados, provavelmente devido à elevada concentração de nitrogênio amoniacal nos efluentes e à conseqüente reação

preferencial de formação de cloraminas.

Os resultados obtidos mostraram que o processo de desinfecção utilizando hipoclorito de sódio foi eficiente na remoção de colifagos, promovendo inativação da ordem de 78%, entretanto não foi eficiente na remoção de ovos de helmintos, conforme esperado. Concluiu-se que o emprego do hipoclorito como desinfetante é recomendável para efluentes de lagoas facultativas sendo necessário garantir cloro residual ao final do processo, que deverá ser removido em seguida, antes do lançamento do esgoto tratado (GONÇALVES, 2003).

Os compostos clorados não possuem capacidade desinfetante para protozoários patogênicos e helmintos, ao contrário das lagoas de estabilização.

As lagoas de estabilização são desinfetantes naturais, sendo eficientes tanto na inativação de bactérias e vírus quanto na inativação de organismos patogênicos. Tendo em vista o relativo baixo custo das lagoas de estabilização e a elevada eficiência na remoção dos diversos organismos patogênicos, elas se destacam como alternativa na remoção destes organismos, principalmente cistos de protozoários e ovos de helmintos.

É importante que haja o uso de compostos clorados em um pós-tratamento, mesmo de águas residuárias provenientes de sistemas de lagoas, para que se tenha o cloro residual em sistemas de distribuição e armazenamento da água.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado foi estruturado nas seguintes etapas:

1º ETAPA: Inicialmente foi realizado um levantamento na área urbana do município de São José dos Pinhais sendo dividida em três setores como possíveis usuários do efluente tratado da ETE Martinópolis, sendo estes: para irrigação urbana e lavagem de ruas; lavagem de veículos e reserva de incêndio. Os setores foram analisados espacial e quantitativamente, sendo levantadas as demandas e localizados os usuários.

2º ETAPA: A seguir foi feita uma avaliação qualitativa do potencial de reúso do

efluentes da ETE Martinópolis para o setor urbano.

3º ETAPA: Definição das ações de reúso urbano. Para tanto, as ações foram concebidas em termos de relações oferta e demanda, concepção de sistema de produção, concepção de sistema de distribuição da água de reúso e análise de custos.

3.3.1 Caracterização do Setor Urbano – Análise Espacial e Quantitativa

Para o levantamento das demandas urbanas no município de São José dos Pinhais passíveis de utilização dos efluentes da ETE Martinópolis as informações foram obtidas principalmente junto as seguintes instituições: Prefeitura de São José dos Pinhais, Instituto de Desenvolvimento Urbano de São José dos Pinhais – IDU-SJP e Corpo de Bombeiros.

O Departamento de Controle Ambiental (DECAM), Setor de Limpeza Pública é o responsável pela limpeza urbana no município e rega de canteiros e praças públicas. A empresa Ecosystem é quem realiza os serviços de varrição, lavagem de ruas e rega de canteiros e praças. A partir de entrevista com Daniella Paul, funcionária do setor de limpeza pública e Sr. Antonio Carlos Osadzuk, funcionário da Ecosystem, pôde-se fazer o levantamento das principais atividades com maior demanda de água.

Através da rota que o caminhão-pipa segue diariamente foi sendo traçado no mapa impresso do município os locais públicos irrigados e lavados. A demanda de água para esta atividade foi estimada a partir da capacidade de armazenamento do caminhão e número de vezes que ele capta água em cavas do Rio Iguaçu.

Para fazer a análise quantitativa para lavagem de veículos da frota do município, foram obtidas informações junto a Secretaria de Viação e Obras Públicas em entrevista com o Sr. Irineu Machado, responsável pelo setor.

Junto ao Corpo de Bombeiros de São José dos Pinhais em entrevista com o Tenente Araújo foi averiguada a demanda por água para a lavagem da frota de veículos do Batalhão e para incêndios.

A partir das informações obtidas, com auxílio do software ArcView e do mapa de uso e ocupação do solo, foi elaborado um mapa com a localização das praças e

logradouros que são lavados e/ou irrigados.

3.3.2 Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Urbano

Para a avaliação qualitativa de reúso no setor foram comparados os parâmetros da ETE Martinópolis com os padrões de qualidade da água para irrigação urbana da EPA (2004) e Sabesp (SEMURA et al, 2005) em vista da inexistência no Brasil de resoluções que estabeleçam padrões específicos para o uso de águas residuárias tratadas. A Resolução nº 54 do CNRH abrange e conceitua os tipos de reúso, entretanto não estabelece padrões de qualidade da água.

3.3.3 Concepção das Ações de Reuso Urbano

Foram previstas três ações de reúso urbano na área de estudo, onde considerou-se as vazões de demanda, distâncias entre ETE e usuário, qualidade do efluente fornecido pela ETE, custos preliminares de tratamento e distribuição e avaliação técnica preliminar.

Foi planejado para o reúso urbano apenas a distribuição por caminhão-pipa, pois no caso da ação AU 01, a rega dos canteiros e limpeza ocorrem ao longo do trajeto do caminhão. Para a ação AU 02 a baixa demanda e a grande distância entre a ETE não justifica a construção de uma adutora, a não ser que haja outros usuários ao longo do percurso.

Isto posto, foram estabelecidos os setores de aplicação para cada uso e idealizados cenários possíveis de absorver a oferta de efluentes da ETE.

Para o sistema distribuição através de caminhões-pipa foi calculada a capacidade diária de um caminhão, a quantidade necessária de caminhões para o transporte do volume de água disponível, além do custo dessa distribuição, sendo considerado para essa função dois funcionários para cada caminhão, que são os motoristas, revezando em dois turnos.

Os campos da coluna “VARIÁVEL” que tem um asterisco são os que mudam

para cada ação, estimados de acordo com as considerações específicas. Os parâmetros utilizados nos cálculos encontram-se na Tabela 3.4. O custo de hora trabalhada para dois ou mais funcionários foi estimada a partir do custo para um funcionário.

TABELA 3.3 - PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA

| SIGLA | PARÂMETRO | AU 01 | AU 02 | FONTE |
|------------------|---|--------|-------|-------|
| Cnf | Custo da hora trabalhada para n funcionários (R\$) | 24,85 | 20,30 | (1) |
| Ckm | Custo por km rodado (R\$) | 1,67 | 1,67 | (1) |
| Nf | Número de funcionários | 2 | 1 | (2) |
| kmd | km rodados por dia | 120 | 12 | (3) |
| C | Capacidade do caminhão (L) | 8000 | 8000 | (2) |
| N° v | N° de veículos necessários para o transporte diário | 1 | 1 | (3) |
| Dm | Dias trabalhados por mês | 24 | 24 | (2) |
| Q _{dcp} | Vazão diária por caminhão-pipa (m ³ /d) | 115,86 | - | (3) |
| t _c | Tempo de ciclo = t _{fixo} + t _{variável} (30+x) min | 35 | - | (3) |
| H _t | Horas de funcionamento dos carros | 14 | 1,5 | (2) |
| f _E | Fator de eficiência | 0,7 | - | (4) |

FONTE : (1) DANLURB

(2) Considerado

(3) Estimado

(4) Brito

NOTA: * PARÂMETROS QUE VARIAM CONFORME A AÇÃO

A capacidade diária de um caminhão pipa e o número de veículos necessários para suprir a demanda diária foram calculados através das equações (4) e (5) (BRITO, 2005).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Da caracterização do Setor Urbano – Análise Espacial e Quantitativa

3.4.1.1 Irrigação Urbana e Lavagem de Ruas

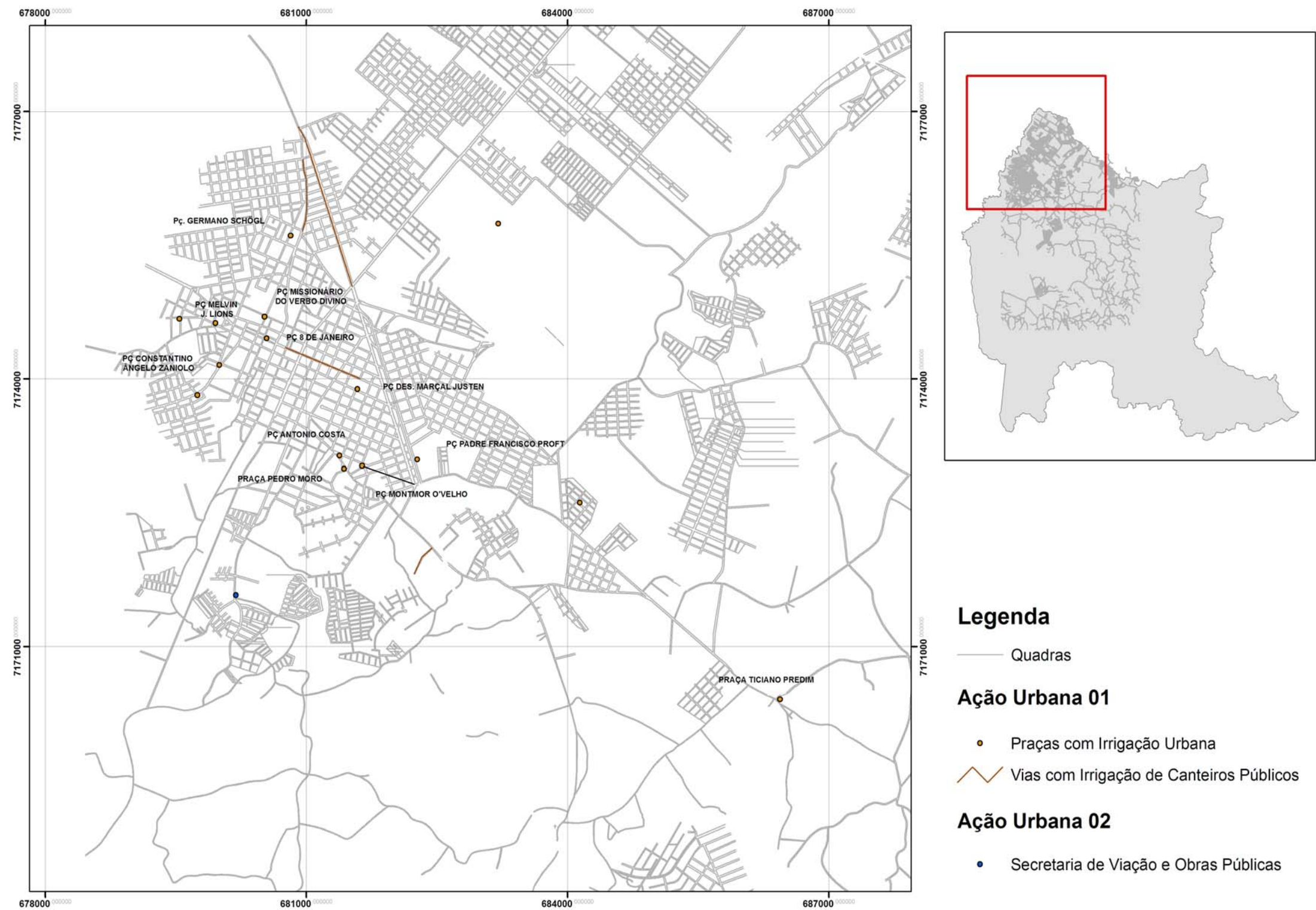
A irrigação de parques e canteiros públicos no município é realizada diariamente de segunda a sábado, em dois turnos, das 14:00h às 22:00h e das 23:30h às 5:30h, por uma empresa terceirizada pela prefeitura do município. A empresa Ecosystem utiliza um caminhão-pipa para a realização da rega.

A Tabela 3.4 apresenta os locais onde é realizada a irrigação de canteiros públicos e praças de segunda a sábado no município. A localização destas ruas encontra-se na Figura 3.3.

TABELA 3.4 – LOCAIS ONDE É REALIZADA A IRRIGAÇÃO DE CANTEIROS PÚBLICOS E PRAÇAS

| LOCALIZAÇÃO | NOME |
|-------------|--|
| 1 | Av. Rui Barbosa |
| 2 | Av. Torres/ do portal do Município à Nutrimental |
| 3 | João Andregueto/Alameda Dom Pastor |
| 4 | Providencia/Barro Preto |
| 5 | Joaquim Nabuco - Av. Das Américas |
| 6 | Rua XV. Maralise nogueira até 7 de Setembro |
| 7 | Praça 8 de Janeiro |
| 8 | Rua Souza Naves, Praça Melrei Jones |
| 9 | Zacarias Alves Pereira |
| 10 | Rua Pedro Moro |
| 11 | Praça Antonio Costa |
| 12 | Praça Ticiano Prendin |
| 13 | Praça Padre Francisco Proft |
| 14 | Praça Constantino Angelo |
| 15 | Missionário V. Divino |
| 16 | Praça Marçal Justen |
| 17 | Praça no Parque São José |

FIGURA 3.3– MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS E PRAÇAS ONDE HÁ IRRIGAÇÃO NO MUNICÍPIO



O caminhão percorre 100 a 120 km/dia, com rendimento de 6 km/L de combustível. O caminhão é abastecido com água retirada das cavas três vezes por dia, sendo a demanda diária de 20 a 24 mil L/dia. São necessários três trabalhadores por turno para a realização do trabalho, sendo 1 motorista e dois ajudantes. Para o cálculo da distribuição por caminhões foi considerado apenas o custo dos motoristas que realizam o transporte.

A lavagem de ruas no município não é rotineira, isto se justifica pelo bom índice pluviométrico na maior parte do ano. A empresa responsável pelo serviço de limpeza pública realiza a lavagem de ruas esporadicamente, antes e depois de eventos que ocorrem na cidade, tais como feiras-livres ou festas e também de terminais de ônibus, e o autódromo da cidade. Esta lavagem é feita normalmente nos dias chuvosos, quando não é necessária a irrigação dos canteiros, sendo realizada por cerca de 6 funcionários. A estimativa do consumo de água e número de funcionários continua o mesmo, pois a mesma equipe realiza este serviço e o consumo de água é cerca de 1 caminhão a mais na lavagem.

A Figura 3.4 mostra o caminhão utilizado para os serviços de limpeza pública no município de São José dos Pinhais.

FIGURA 3.4 - CAMINHÃO-PIPA UTILIZADO NA LIMPEZA PÚBLICA DO MUNICÍPIO



Outra possibilidade de reúso de água é na compactação e controle de poeira nas estradas. Atualmente, a prefeitura dispõe de somente um caminhão-pipa para esta função, que ocorre esporadicamente, pois o caminhão funciona para todas as atividades de limpeza, sendo que o efluente tratado da ETE poderia ser utilizado para este fim.

Quanto à lavagem de cemitérios, prática comum em diversas localidades, verificou-se que não é realizada nos cemitérios do município. A limpeza usual por parte dos funcionários é a varrição. A manutenção e limpeza dos túmulos são realizada pelos familiares.

3.4.1.2 Frota de Veículos da Prefeitura Municipal

A Secretaria de Viação e Obras Públicas localiza-se no bairro Colônia Rio Grande. Nela fica o pátio com os veículos da prefeitura, onde são realizados os reparos e lavagem. A frota é formada por 350 veículos, entre leves e pesados. A frequência da lavagem dos veículos é diária, de acordo com a necessidade dos veículos. Semanalmente são lavados cerca de 35 ônibus e 30 carros pequenos. A água utilizada para a lavagem dos veículos é obtida através de dois poços.

Segundo MACHADO (2006), esta rotina foi alterada desde a última estiagem ocorrida em agosto de 2006, onde as lavagens dos ônibus ocorriam duas vezes por semana, sendo 35 veículos cada vez, totalizando 70 veículos pesados por semana e os carros pequenos eram lavados diariamente em um número cerca de duas vezes maior do que o atual.

O pátio dos veículos abriga dois lava-rápido, um para os veículos maiores e outro para os menores. Estes equipamentos são do tipo “Rollover”, em que o automóvel não se movimenta enquanto a máquina de lavagem passa por ele. O equipamento maior está em funcionamento há três anos e o menor foi adquirido há 6 meses. Lavagens a jato-manual são usadas apenas para lavar os tratores e calotas e eixo dos veículos menores. Como este sistema não é automatizado, o consumo de água depende da maneira como cada operador o utiliza sendo as perdas altas. Estima-

se que o consumo por veículo, considerando as perdas, seja de 50 litros por veículo.

A água utilizada para todas as lavagens é de um poço artesiano, e o efluente final é coletado numa vala situada abaixo do sistema de lavagem e descartado diretamente na rede pública de esgoto.

Segundo informações do fabricante, cada lavagem realizada no lava-rápido maior consome 140 L, sendo que o consumo semanal, considerando-se os 35 veículos, é de 4.900 L. Considerando o gasto de 50 L para a lavagem dos eixos e calotas, tem-se o consumo de 1750 L, sendo que a demanda total para a lavagem semanal dos veículos pesados é de 6650 L. O consumo do lava-rápido menor é de 90 L por carro, para os 30 veículos lavados semanalmente, o consumo é de 2.700 L mais 1500 L da parte manual, totalizando 4200 L. São necessários dois funcionários para a lavagem dos veículos, um operando no lava-rápido e outro na lavagem a jato manual.

A iniciativa deste setor em economizar água na lavagem dos veículos é muito importante. Observou-se que com a instalação dos lava-rápidos e a posterior diminuição na frequência da lavagem dos veículos devido aos problemas de estiagem ocorridos no município o consumo de água diminuiu pela metade. A aceitação por parte do setor em reusar a água foi grande, entretanto, a distância da ETE ao pátio dos veículos é muito grande sendo um fator negativo ao analisar a possibilidade desta ação.

3.4.1.3 Corpo de Bombeiros

Segundo ARAÚJO (2006), Tenente do Corpo de Bombeiros de São José dos Pinhais, o consumo de água é bastante variável em casos de incêndios, sendo difícil estipular a demanda mensal. A demanda diária para manutenção dos veículos é pequena, deste modo não justifica a utilização dos efluentes para este uso, entretanto, as perspectivas como reserva de proteção contra incêndio são altas visto que, segundo TSUTIYA (2005), a vazão necessária para combate a incêndio adotada nos EUA é aproximadamente 31,4 L/s. Sendo a oferta da ETE Martinópolis de 80 L/s, esta poderia fornecer o seu efluente tratado para reserva de proteção contra incêndio.

Do exposto acima, não foi possível estimar a demanda de água consumida

em incêndios no município, entretanto, a partir da Tabela 3.5, considerando o número de ocorrências no município apenas no ano de 2006, pode-se afirmar que o consumo é alto.

TABELA 3.5 – TOTAL DE OCORRÊNCIAS, TIPOS DE INCÊNDIO E ÁREA QUEIMADA, OCORRIDOS EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS EM 2006

| TIPO | TOTAL DE OCORRÊNCIAS | ÁREA QUEIMADA (ha) |
|---------------------------|----------------------|--------------------|
| Residência | 567 | 0,122 |
| Via pública | 1837 | 0 |
| Estabelecimento religioso | 2 | 0 |
| Indústria | 33 | 4,34 |
| Rodovia | 71 | 0,5 |
| Vegetação Rasteira | 85 | 41,793 |
| Estabelecimento de saúde | 11 | 0 |
| Comércio | 91 | 0 |
| Estabelecimento de lazer | 54 | 0,181 |
| Aeroporto | 14 | 0,055 |
| Estabelecimento Militar | 31 | 0 |
| Terminal de passageiros | 13 | 0 |
| Terreno baldio | 39 | 0,555 |
| Prestação de serviços | 13 | 0 |
| Reflorestamento | 6 | 5,55 |
| Mata e/ou floresta | 18 | 0,513 |
| Lixo | 4 | 0,015 |
| Estrada rural | 12 | 0,001 |
| Barracão/Depósito | 47 | 0,084 |
| Meio agropecuário | 6 | 0 |
| Estabelecimento de ensino | 40 | 0 |
| Capoeira | 72 | 9,483 |
| Cerrado | 7 | 0,08 |
| Subsolo | 3 | 0 |
| Obras e/ou Construção | 11 | 0,001 |
| Cultura agrícola | 3 | 0 |
| Meio de transporte | 11 | 0 |
| Mata Atlântica | 1 | 0 |
| Presidio | 2 | 0 |
| Aviário | 2 | 0,005 |
| Caatinga | 6 | 0,155 |
| Pasto | 3 | 0 |

FONTE: Adaptado de RELATÓRIO PLANO MATA VIVA (2006)

A frota de veículos é formada por dois caminhões, um (1) alta-bomba-tanque-resgate (ABTR) com capacidade de 5.000 litros e um (1) alta bomba-tanque (ABT) com capacidade de 4.000 litros, três (3) ambulâncias e um (1) veículo leve.

A lavagem da frota é realizada diariamente através de lavador a alta pressão, utilizando água da rede pública, entretanto, em época de estiagem, houve a preocupação em diminuir a periodicidade das lavagens. Em caso de incêndio, os veículos são abastecidos por hidrantes localizados nas ruas.

Na Tabela 3.6 encontram-se listadas as ações e as demandas levantadas para o setor urbano. A demanda para limpeza pública e irrigação urbana e lavagem da frota de veículos da PM apresentou-se bem menor do que a oferta, que é de 80 L/s, isto posto, caso estes setores se interessassem pelo efluente ele estaria disponível quantitativamente. Para o uso de água pelo corpo de bombeiros no município não foi possível estimar quanto é gasto, pois, é um evento aleatório e não há estatísticas de consumo de água neste sentido no município.

TABELA 3.6 - ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA PARA FINS URBANOS

| AÇÕES | USO | VAZÃO (m³/dia) | FREQÜÊNCIA | FONTES DE ÁGUA |
|-------|------------------------------------|----------------|------------|----------------|
| AU 01 | Limpeza Pública e Irrigação Urbana | 20 | Diária | Iguaçu |
| AU 02 | Lavagem da Frota de Veículos PM | 2,2 | Diária | Poço |
| AU 03 | Reserva contra incêndio | - | eventual | Diversos |

3.4.2 Análise Qualitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para Uso Urbano

Para a avaliação qualitativa do efluente da ETE Martinópolis para fins de reúso urbano, foi realizada uma comparação dos parâmetros do efluente com os critérios da EPA (2004) e Sabesp (SEMURA et al, 2005), a fim de averiguar o atendimento aos padrões de qualidade.

Na Tabela 3.7 encontram-se dispostos os valores médio, máximo e mínimo encontrados no esgoto bruto e no efluente tratado, na saída de terceira lagoa, obtidos a partir de dados fornecidos pela SANEPAR através do Boletim Anual de Controle Operacional da ETE do ano de 2006. Esta tabela encontra-se no capítulo 2 deste trabalho, entretanto, foi repetida para facilitar a consulta dos dados neste capítulo.

TABELA 3.7 – PARÂMETROS DA ENTRADA E SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS

| Parâmetros | AFLUENTE | | | EFLUENTE | | |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | Máximo | Mínimo | Médio | Máximo | Mínimo | Médio |
| DBO (mg/L) ⁽¹⁾ | 303 | 74 | 168 | 135 | 17 | 58 |
| DQO (mg/L) ¹⁾ | 461 | 159 | 317 | 191 | 80 | 131 |
| SST (mg/L) ⁽¹⁾ | 325 | 38 | 117 | 113 | 16 | 52 |
| SS (mL/L.h) ⁽¹⁾ | 1,70 | 0,10 | 0,97 | 0,20 | 0 | 0,05 |
| pH ⁽¹⁾ | 8,45 | 6,61 | 7,07 | 8,45 | 7,07 | 7,80 |
| NTK(mg/L) ⁽²⁾ | 56,25 | 45,73 | 52,57 | 40,34 | 20,12 | 29,75 |
| FÓSFORO (mg/L) ⁽²⁾ | 5,83 | 4,10 | 4,75 | 2,18 | 1,30 | 1,72 |
| CTT (mg/L) ⁽²⁾ | 8,89E+06 | 3,36E+06 | 5,78 E+06 | 1,75 E+02 | 3,10E+01 | 1,04 E+02 |

FONTE: Adaptado SANEPAR (2006)

¹ Valores monitorados durante os 12 meses de 2006.

² Valores medidos a partir de 4 análises realizadas pela autora.

Na Tabela 3.8 encontram-se os critérios utilizados pela Sabesp (SEMURA et al., 2005), EPA (2004), e os valores do efluente da ETE Martinópolis.

TABELA 3.8 - CRITÉRIOS ADOTADOS PARA REÚSO URBANO

| PARÂMETROS | ETE MARTINÓPOLIS (MÉDIA). | SABESP | ATENDE | EPA (2004) ⁽¹⁾ | ATENDE |
|----------------------------|---------------------------|------------------|--------|---------------------------|--------|
| Coliformes Termotolerantes | 1,04E+02 | <200 NMP/ 100 mL | sim | não detectados/ 100 mL | não |
| Cloro Residual Livre | - | 2-10 mg/L | - | ≥1 mg/L | - |
| pH | 7,8 ⁽²⁾ | entre 6 e 9 | sim | 6 a 9 | sim |
| DBO | 58 | < 25 mg/L | não | 10 mg/L | não |
| SST | 52 | < 35 mg/L | não | - | - |
| Turbidez | - | <20 UT | - | < 2 UT | - |
| Ovos de Helmintos | Considerado Ausente | - | - | Ausente | sim |
| Óleos e Graxas | - | < 15 mg/L | - | - | - |

NOTA: A água de reúso não deve possuir odor e cor.

- Parâmetro não monitorado ou não consta nos critérios

1 Por exemplo, para tratamento secundário, filtração e desinfecção: DBO₅ < 10 mg/L; Turbidez < 2 UT; Cloro residual = 1,0 mg/L; pH entre 6-9 e coliformes termotolerantes não detectáveis em 100 mL

O efluente da ETE Martinópolis apresenta boa qualidade microbiológica, característica de sistema de tratamento composto por lagoas em série. Ao final da sequência das três lagoas de maturação, a concentrações máxima de CTT foi de $1,75 \times 10^2$ NMP/100ml, aceitável segundo WHO (2006), conforme pode ser verificado na TABELA 2.9 tanto para irrigação restrita quanto para irrestrita.

O NTK no esgoto bruto variou de 45,73 a 56,26 mg/L e de 20,12 a 40,34 mg/L no efluente tratado. As concentrações encontradas no efluente tratado podem ser nocivas às culturas agrícolas, tornando necessária a remoção parcial do teor de nitrogênio.

Segundo WHO (2006) teores de nitrogênio total abaixo de 5 mg/L podem ser usados sem nenhum grau de restrição, não prejudicando mesmo as culturas agrícolas mais sensíveis. De 5 a 30 mg/L a restrição ao uso varia de pouco a moderado e acima de 30 mg/L o grau de restrição é severo, pois pode ser absorvido pelas plantas, sendo prejudiciais para algumas culturas.

As concentrações de fósforo variaram de 1,30 a 2,18 mg/L na saída do sistema. Não há restrição ao uso de compostos de fósforo na literatura, pois não são prejudiciais às plantas.

Em relação à lavagem de veículos, a água utilizada deve ter baixa concentração de óleos, graxas e surfactantes para que não provoque manchas nos veículos, da mesma forma que uma concentração elevada de sais na água pode acarretar manchas nos veículos na secagem e acarretar problemas de corrosão de metais e borrachas.

3.4.3 Das Ações de Reúso

Para o reúso urbano foram contempladas 3 ações, sendo que em cada uma foi previsto:

- Definição dos Requisitos Técnicos;
- Concepção do Sistema de Distribuição;
- Análise Econômica.

3.4.3.1 Definição dos Requisitos Técnicos

Para atender aos critérios de qualidade pré-estabelecidos neste estudo (Tabela 3.8) é necessário realizar um pós-tratamento da água residuária tratada pela ETE Martinópolis.

O sistema de tratamento recomendado para o reúso urbano é secundário, seguido de filtração e desinfecção. Para o efluente oriundo da ETE Martinópolis tratado através de lagoas de estabilização, o pós-tratamento sugerido nas três ações é composto por uma unidade de filtração rápida descendente seguido por desinfecção,

com hipoclorito de sódio com 10 % de cloro livre e 5 mg/L de cloro. A Tabela 3.9 apresenta a eficiência teórica do sistema proposto, utilizando como % de remoção os valores da literatura.

TABELA 3.9 - EFICIÊNCIA TEÓRICA DAS UNIDADES DE POS- TRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO DA ETE MARTINOPOLIS E QUALIDADE FINAL OBTIDA

| EFLUENTE TRATADO DA ETE MARTINOPÓLES E QUALIDADE DA ÁGUA OBTIDA | | | | | | | | | |
|---|--------------|--|--------------------|-----------|--------------------|-------------|--------------------|--|---------|
| PARÂMETROS | EFLUENTE ETE | TRATAMENTO RECOMENDADO E VALOR TEÓRICO MÍNIMO OBTIDO EM CADA ETAPA | | | | | | QUALIDADE DA ÁGUA OBTIDA APÓS O TRATAMENTO | |
| | | Precipitação química | | filtração | | desinfecção | | | |
| | | % Remoção | Valor Remanescente | % Remoção | Valor Remanescente | % Remoção | Valor Remanescente | | |
| pH | 7,8 | - | - | - | - | - | - | - | 7,8 |
| Odor | Ausente | - | - | - | - | - | - | - | Ausente |
| Turbidez (UT) | - | 50 | - | 50 | - | - | - | - | - |
| Sólidos suspensos totais (mg/L) | 52 | 80-90 | 10,4 | 50 | 5,2 | - | - | - | 5,2 |
| DBO (mg/L) | 58 | 40-70 | 34 | 25-50 | 26 | - | - | - | 26 |
| NTK(mg/L) | 20,12 | - | - | - | - | - | - | - | 20,12 |
| Fósforo total (mg/L) | 1,72 | 50 | 0,86 | 50 | 0,43 | - | - | - | 0,43 |
| CTT (NMP/100mL) | 1,04E+02 | 80-90 | 20 | 50 | 10,4 | 50 | 5 | 5 | <14 |
| Helminthos (ovo /L) ⁽¹⁾ | Ausente | - | - | - | - | - | - | - | Ausente |

NOTA: (1) CONSIDERADO

Comparando-se os dados obtidos da qualidade da água após o tratamento, conforme Tabela 3.9 com os critérios sugeridos para reúso urbano da Tabela 3.8, pode-se concluir que o sistema proposto para atender aos padrões de qualidade em reúso urbano é eficiente.

Apenas a DBO está um pouco acima do recomendado, contudo, foi utilizado para o cálculo, a partir da Tabela 3.9, o menor valor de percentual de remoção, ou seja, a menor eficiência.

Valores do cloro residual ≥ 1 mg/L no sistema de distribuição são recomendado para reduzir odores, limo e o crescimento bacteriano EPA (2004). Entretanto, o cloro residual combinado presente na água pode ser extremamente perigoso, pois ao reagir com compostos orgânicos pode originar substâncias como cloraminas ou trihalometanos, potencialmente perigosas para a saúde humana. Isto posto, recomenda-se a eliminação dos sólidos, antes da desinfecção e a cloração para além do “break-point” (ponto de ruptura), onde são destruídas parcialmente as cloraminas e compostos orgânicos de cloro, tendo-se a partir daí o cloro residual livre.

A turbidez do efluente da ETE Martinópolis não foi monitorado, entretanto por estar diretamente correlacionado com o teor de sólidos suspensos totais pode ser esperada a remoção de turbidez associada à remoção dos SST.

3.4.3.2 Concepção de Sistema de Distribuição

Para o cálculo dos custos de distribuição por caminhões–pipa foram orçados os custos fixos incidentes sobre a hora a disposição e os custos variáveis incidentes sobre o quilômetro rodado.

Para a ação urbana 01 - AU 01, referente à irrigação de canteiros e praças e lavagem de ruas, foram definidos os itinerários dos caminhões e o número de viagens, totalizando 3 viagens diárias para o caminhão e estimando-se a quilometragem que os veículos percorrem diariamente. A Figura 3.3 apresenta desenho esquemático das zonas de irrigação do município.

A demanda diária é de 20 a 24 m³/dia, enquanto que a oferta diária da ETE é de 6.912 m³, sendo a quantidade ofertada bem superior à demanda requerida para este fim, podendo suprir a demanda para irrigação de canteiros.

Para a ação urbana 02 – AU 02, em relação à frota de veículos da prefeitura do

município, verificou-se que a demanda para a lavagem dos veículos é de aproximadamente 10.850 L em uma semana, cerca de 11 m³/semana e 44 m³/mês. A distância do pátio à ETE é de cerca de 11 km, o caminhão-pipa percorreria um itinerário de 30 km em cada ida até o pátio da prefeitura, saindo da sua garagem na empresa em que se localiza. Sendo programadas duas idas por semana, a kilometragem do caminhão é de 60 km semanais e o número de dias trabalhados mensalmente são oito.

Seriam necessários duas viagens do caminhão por semana, onde este seria abastecido com a água de reúso em um reservatório junto a ETE e conduzido até o pátio dos veículos. Faz-se necessário apenas um funcionário para abastecer o caminhão, podendo ser o mesmo o condutor do veículo. Os dias trabalhados mensalmente para este serviço são oito, considerando dois abastecimentos semanais.

Na Tabela 3.3 encontram-se os parâmetros utilizados nos cálculos do custo de distribuição do efluente da ETE ao pátio de veículos onde é realizada a lavagem, referentes a ação AU - 02.

Para a ação AU-03, referente à reserva de incêndio, não foi considerada a avaliação de distribuição do efluente devido a falta de dados e nível de detalhamento requerido para conceber sistemas duplos de distribuição no município. Os veículos da frota própria do Corpo de Bombeiros são capacitados para armazenar a água a ser utilizada, desta forma, recomenda-se que os veículos se desloquem até o reservatório de água de reúso construído na própria ETE para que possam utilizar a água, adequada em termos de qualidade.

3.4.3.3 Análise Econômica

Os resultados do levantamento de custos das ações encontram-se nas tabelas seguintes.

A Tabela 3.10 e a Tabela 3.11 apresentam os custos totais para cada ação. Os parâmetros considerados nos cálculos para a distribuição por caminhão-pipa para as ações encontram-se na Tabela 3.3, enquanto os valores obtidos estão na Tabela 3.12. Não foi considerado o preço de aquisição dos caminhões, considerou-se valores de

veículos terceirizados.

O custo da hora trabalhada para 2 funcionários na ação AU 01 foi calculado em 24,85 reais, 1 funcionário em cada turno, sendo consideradas 14 horas diárias.

A demanda necessária para a ação AU 01 foi estimada em até 0,3 L/s, enquanto que para a ação AU 02 a demanda é de apenas 0,1 L/s.

TABELA 3.10 – CUSTOS PARA A AÇÃO AU 01

| AÇÃO AU 01 (Q = 0,3 L/s) | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição | Custo (US\$) | Fonte |
| Tratamento | | |
| Implantação | 77.047 | Brito (2005) |
| Manutenção e operação | 3.852 | (5%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 17.810 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 356 | (2%)x Implantação |
| Distribuição por Caminhão-pipa | | |
| Manutenção e operação | 67.313 | |

TABELA 3.11 - CUSTOS PARA A AÇÃO AU 02

| AÇÃO AU 02 (Q = 0,1L/s) | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição | Custo (US\$) | Fonte |
| Tratamento | | |
| Implantação | 77.047 | Brito (2005) |
| Manutenção e operação | 3.852 | (5%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 17.810 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 356 | (2%)x Implantação |
| Distribuição por Caminhão-pipa | | |
| Manutenção e operação | 6.238 | |

A Tabela 3.12 apresenta o custo total anual dos sistemas propostos, sendo que os valores foram obtidos com base nos custos de implantação e manutenção/operacão para uma vida útil de instala  o de 20 anos e uma taxa de retorno do investimento de 10% ao ano. O preço do dólar considerado foi o do dia 22 de janeiro de 2007, sendo 1 dólar 2,58 reais. O valor do fator de recupera  o do capital recuperado foi de 0,1175.

TABELA 3.12 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÕES URBANAS

| AÇÕES | Q (L/s) | N°_{CP} | DISTANCIA (km) | Ckm (R\$) | Cnf (R\$) | Ht(h) | CUSTO MENSAL (R\$) | CUSTO ANUAL (R\$) | CUSTO ANUAL (US\$) |
|-------|---------|------------------|-------------------|--------------|--------------|-------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| AU 01 | 0,3 | 1 | 120 | 1,67 | 24,85 | 8 | 9581 | 114.970 | 53.800 |
| AU 02 | 0,1 | 1 | 12 | 1,67 | 20,30 | 1,5 | 1212 | 14.542 | 6.805 |

TABELA 3.13 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS

| AÇÕES | CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (US\$) | CUSTO ANUAL DE AMORTIZAÇÃO DO CAPITAL | CUSTO ANUAL O&M (US\$) | CUSTO TOTAL ANUAL (US\$) | VAZÃO (L/S) | VAZÃO ANUAL (1000 m ³) | CUSTO TOTAL ANUAL POR 1000m ³ / (US\$/1000m ³) |
|-------|------------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------|-------------|--|--|
| AU 01 | 77.047 | 9.049,9 | 3.852,34 | 12.902 | 0,3 | 9 | 1383 |
| AU 02 | 154.566 | 18.155,3 | 5.402,73 | 23.558 | 0,1 | 3 | 7574 |

3.5 CONCLUSÕES

1) Os resultados obtidos expressam a possibilidade técnica para a utilização do efluente da ETE Martinópolis em irrigação urbana, sendo necessário adequar o efluente aos critérios recomendados de qualidade através de pós-tratamento.

2) Sendo o efluente da ETE Martinópolis tratado por lagoas de estabilização, apresenta um grau de qualidade microbiológico bastante elevado, sem a presença de ovos de helmintos, que é um indicador de qualidade para patógenos e um grande problema sanitário.

3) A aplicação da água residuária em irrigação pública não implica na necessidade em adequar a água para padrões de potabilidade, o que inviabilizaria a sua utilização em termos econômicos, entretanto faz-se necessária à adequação do efluente tratado para o uso em irrigação de canteiros, sendo utilizado como critério a segurança sanitária da população e do meio ambiente.

4) Em relação à demanda para limpeza pública e irrigação urbana e lavagem da frota de veículos da prefeitura municipal apresentou-se bem menor do que a oferta, que é de 80 L/s, isto posto, caso estes setores se interessassem pelo efluente ele estaria disponível em termos quantitativos.

5) Para o uso de água pelo Corpo de Bombeiros no município não foi possível estimar quanto é consumido, pois, é um evento aleatório e não há estatísticas de consumo de água neste sentido no município. Contudo, há um grande potencial de reúso nesta atividade devido a alta demanda e a oferta desta água.

6) Em termos econômicos o reúso urbano é viável, pois, o transporte que é um fator importante na análise dos custos de um sistema de reúso não onera o sistema, pois, para a ação urbana 01, que é a irrigação de canteiros e praças, já ocorre a aplicação da água através de caminhão-pipa. Atualmente a prefeitura não paga pela água que utiliza, pois retira de cavas no parque Iguaçu, entretanto, num futuro próximo, será exigido um pagamento através da cobrança de outorga.

7) Para a lavagem de veículos da frota do município o uso do efluente da ETE é viável quantitativamente, sendo que qualitativamente deve passar por um tratamento adicional, todavia, esta alternativa se apresentou com um custo elevado em função da baixa demanda desta atividade e pela distância do pátio à ETE, cerca de 11 km, não justificando sua aplicação em termos econômicos, como pôde-se verificar nos valores da Tabela 3.13.

4 ESTUDO DE ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES PARA FINS INDUSTRIAIS

4.1 INTRODUÇÃO

A indústria tem um papel fundamental na qualidade e quantidade dos recursos hídricos, haja vista a alta demanda deste setor pela água e o seu potencial poluidor deste mesmo recurso. O surgimento de leis ambientais mais rígidas, o aumento de custo da água potável e do preço a pagar para a disposição de resíduos e principalmente a diminuição da oferta de água tornam necessária e imprescindível a readequação da indústrias para o contexto de valoração da água, devendo-se aprimorar técnicas e adequar práticas simples para a economia da água.

Em São José dos Pinhais há uma grande concentração industrial. Em parte devido a sua localização, disponibilidade de terrenos, rodovias federais, o aeroporto e outras infra-estruturas regionais. Essa concentração se acentuou a partir do início da década de 90, com a instalação de grandes montadoras e fornecedores de peças automotivas, devido aos programas de incentivo de indústrias por parte do governo do Estado do Paraná.

O município de São José dos Pinhais, no Paraná, situa-se a leste e a sudeste de Curitiba, ocupando cerca de 10% do território da RMC. Por falta de planejamento urbanístico, até o final da década de 70 vários loteamentos foram aprovados em áreas insalubres e sujeitas a inundações, estando situadas inclusive em áreas de mananciais de água. Com as aprovações do Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba em 1978 e do Plano Diretor de São José dos Pinhais em 1979, a ocupação aconteceu de forma mais ordenada, sendo que o uso da área continuou nos anos seguintes baseado no “congelamento” do processo de aprovação de loteamentos de alta densidade demográfica, na indução à ocupação de baixa densidade nas áreas vagas (HARDT, 1996).

FIRKOWSKI (2000) chama atenção para a fragilidade do planejamento metropolitano em relação aos vetores de ocupação, que pode ser demonstrada a partir

da comparação entre o que se pretendia com o PDI do final da década de 70 e o que ocorre na Região Metropolitana na atualidade.

Cinco subsistemas eram previstos visando à organização territorial, sendo que o subsistema Leste, abrangendo os municípios de Piraquara e São José dos Pinhais, deveria ser reservado ao abastecimento de recursos hídricos, com seu crescimento controlado de forma rígida, devido à localização dos principais mananciais de abastecimento de água de Curitiba e parte da Região Metropolitana. O subsistema Oeste, em direção ao município de Campo Largo, era considerado o eixo primordial de expansão urbana devido à sua ligação com Ponta Grossa e o norte do estado, onde deveria ser a localização do Parque Industrial Metropolitano, entre Araucária e Campo Largo (FIRKOWSKI, 2000).

Ocorreu uma inversão em relação ao planejamento da época, seja em razão do descompasso entre o PDI e a realidade emergente, ou da atuação de outros interesses, como o da especulação imobiliária e também dos capitais industriais, cuja atuação foi mais contundente que a do Plano. A nova dinâmica econômica estabelecida na década de 90 reforçou a ocupação dos municípios localizados à Leste, onde estão situadas, por exemplo, as fábricas da Renault e Audi/Volkswagem, além de parte considerável das áreas ocupadas pela população de baixa renda. À oeste, a expansão urbana foi menor do que a esperada (FIRKOWSKI, 2000).

FIRKOWSKI (2002), destaca que a instalação das indústrias, nesta região, implicará em importantes conflitos em relação ao uso do solo e à questão ambiental.

Diante do crescimento urbano e da necessidade de preservação dos mananciais, a legislação de proteção aos mananciais criou uma nova proposta de gestão dessas áreas.

Isto posto, estes fatos podem ser um incentivo para a implantação de programas de utilização de efluentes tratados como água de reúso industrial nas áreas mais próximas das unidades de tratamento.

4.1.1 OBJETIVOS

4.1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo teve por finalidade avaliar técnica e economicamente a utilização de águas residuárias tratadas oriundas da Estação de Tratamento de Esgoto Martinópolis, para fins industriais no município de São José dos Pinhais situado na Região Metropolitana de Curitiba.

4.1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial de aproveitamento das águas residuárias tratadas pelo setor industrial, situado em um raio de 10 km da ETE Martinópolis.
- Propor ações de reúso no entorno da ETE Martinópolis.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de águas residuárias tratadas para fins industriais é uma prática que tem evoluído acentuadamente. No Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, em 1997 foi implantado o primeiro sistema de reúso, com o fornecimento de 23 L/s, via rede para a indústria Coats Corrente, que utiliza o efluente tratado no processo de lavagem e tingimento de seus produtos, a economia chegou a 70 mil litros de água por hora. Em 2005, a fornecimento já estava em 30L/s (SILVA e FLORIO, 2005).

Durante os anos de 2001 e 2002 a Sabesp realizou um diagnóstico e o respectivo mapeamento da utilização da água de reúso, via rede, pela indústria na RMSP, onde verificou-se a existência de um potencial de demanda de 673 L/s para 2005, nas ETEs ABC e São Miguel e de 878 L/s em 2025 (SILVA e FLORIO, 2005).

No Estado do Ceará a COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos) distribui água bruta (não residuária) para grande parte do parque industrial da região metropolitana de Fortaleza, ficando para cada indústria a adequação da qualidade dessa água às suas atividades (van HAANDEL, 2005).

As principais aplicações industriais de efluentes domésticos tratados são em torres de resfriamento, lavagem de peças e equipamentos, lavagem de gases de

chaminé, além da irrigação de áreas verdes e lavagem de pisos. Segundo CROOK (1993), de forma geral, cerca de 75% de todo reuso industrial destina-se ao resfriamento, da mesma forma que para MIERZWA e HESPANHOL (2005), este valor representa uma parcela superior a 70 % do da demanda de água em determinadas indústrias.

Para a maior parte das indústrias a utilização das águas para resfriamento seria o uso mais freqüente devido aos avanços em tecnologias de tratamento de água, que permitem a utilização em suas plantas de água com qualidade inferior. Estes avanços proporcionam um melhor controle de depósitos, corrosão e problemas biológicos geralmente associados ao uso de águas reutilizadas em um sistema de resfriamento.

MIERZWA (2002) sintetizou na Tabela 4.1, as principais opções indicadas, de um modo geral, para o reuso na indústria, segundo diversos especialistas da área. Os usos apresentados na tabela referem-se às atividades com maior consumo de água em uma indústria e onde os padrões de qualidade exigidos são específicos para os usos pretendidos.

TABELA 4.1 - PRINCIPAIS OPÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA

| REFERÊNCIA | INDICAÇÕES DE USO |
|-------------------------|---------------------------|
| MUJERIEGO e ASANO, 1999 | Refrigeração |
| BEECKMAN, 1998 | Alimentação de caldeiras |
| ASANO, 1991 | Água de processo |
| | Construção pesada |
| CROOK, 1996 | Refrigeração |
| | Alimentação de caldeiras |
| | Água de processo |
| | Construção pesada |
| | Lavador de gases |
| HESPANHOL, 1997 | Refrigeração |
| | Alimentação de caldeiras |
| | Água de processo |
| | Construção pesada |
| | Lavador de gases |
| | Lavagem de pisos e peças |
| | Irrigação de áreas verdes |

FONTE: MIERZWA (2002)

Segundo MIERZWA (2002), o reúso macro interno, pode ser implantado de duas formas diferentes. A primeira é através do reúso em cascata, que ocorre quando o efluente produzido em um processo industrial pode ser diretamente utilizado em outro processo subsequente, sendo viável quando as características do efluente produzido no primeiro uso forem compatíveis com a qualidade requerida para o próximo. A outra forma é através reúso de efluentes tratados, que consiste na utilização dos efluentes gerados no processo industrial como um todo, que foram submetidos a um processo de tratamento numa ETE, atingindo um determinado padrão de qualidade.

Por outro lado, na indústria há uma série de pontos de consumo de água, que exigem padrões de qualidade diferenciados. Novamente, o reúso só se efetivará quando as características físicas, químicas e biológicas do efluente tratado forem compatíveis com aquelas dos usos específicos, apresentando características. Há casos em que é necessária a instalação de um processo adicional para o tratamento dos efluentes.

O atual estágio de desenvolvimento tecnológico permite que qualquer corrente de efluente seja tratada a níveis que atendam às normas de controle ambiental, assim como se pode obter um efluente tratado com características compatíveis àquelas requeridas pelos diversos tipos de águas utilizadas para uso industrial. Contudo, mesmo que estas técnicas apresentem este potencial, não existe uma regra prática que diga qual delas é a mais adequada para o tratamento de uma determinada corrente de efluente, muito menos qual a combinação de técnicas que devem ser adotadas para se obter o melhor desempenho do sistema de tratamento.

MATTIO (2001) comenta que dentro da indústria existem diferentes critérios de classificação para a água, de acordo com a finalidade determinada. Reúso é quando a água é utilizada mais de uma vez dentro da planta. Na reciclagem a água é recuperada e reutilizada no mesmo processo. No reaproveitamento a água é recuperada e reutilizada em processo diferente da origem.

4.2.1 Exemplos de Reúso Industrial

No México há vários exemplos de reúso de água na indústria através de efluentes de origem doméstica. A primeira experiência de reaproveitamento de efluentes no país foi em 1955, na cidade de Monterrey. Uma indústria da cidade através da recuperação de efluentes em um sistema de reúso produzia 200 l/s e distribuía para outras indústrias próximas (CNA, 2002).

A termoeletrica de Tula conta com um sistema de reúso que produz de 850 a 1300 l/s de água de reúso oriundas de efluentes da cidade do México para utilização em torres de resfriamento (CNA, 2002).

Em 1951 o Japão implantou um programa de recuperação e reutilização de efluentes para a industria de papel em Tóquio. No país aproximadamente 130.000 m³/dia de efluentes urbanos são tratados em nível avançado e usados por indústrias. Isto acontece no distrito de Koh-Toh e Tohoku, em Tóquio e na cidade de Nagoya. Em Nagoya e Koh-Toh, além do tratamento secundário são utilizados a coagulação, a sedimentação, filtração rápida em areia e cloração. Em Tohoku, além dos processos descritos, utiliza-se também carvão ativado, sendo que a maior parte da água é utilizada para resfriamento de equipamentos e limpeza.

Em Fukuoka, diversos setores operam com rede dupla de distribuição de água, sendo o efluente tratado utilizado em irrigação de árvores em áreas urbanas, para lavagem de gases, e alguns usos industriais, tais como resfriamento e desodorização (HESPANHOL, 2003)

4.2.2 Principais Aspectos a Serem Observados na Qualidade da Água em Sistemas de Torres de Resfriamento

A utilização da água de reúso em torres de resfriamento é uma das principais aplicações na indústria, devido ao alto consumo de água e aos padrões de qualidade não tão exigentes.

VITORATTO (2004) pede atenção especial à aplicação do reúso em processos industriais para a qualidade das águas em questão e aos efeitos potenciais na saúde dos usuários, nas instalações da indústria como corrosão, incrustações e deposição de materiais sólidos nas tubulações, tanques e outros equipamentos, e afirma que um sistema de tratamento terciário ou avançado se faz necessário para qualquer tipo de reúso.

Da mesma forma, METCALF e EDDY (2003) mencionam os principais problemas relacionados à qualidade da água, especificamente em operações de torres de resfriamento, que são as incrustações, corrosão metálica, crescimento biológico e a formação de *fouling* em trocadores de calor e condensadores, sendo comuns tanto no uso de água doce como na água de reúso, entretanto devido a maior concentração de constituintes que podem causar estes problemas ser em águas residuárias, as concentrações são maiores.

O Fouling consiste num aglomerado de materiais, onde o ligante normalmente é a biomassa e, em outros casos, óleo mineral ou fluidos de processo com material aglutinado, sólidos suspensos como silte, lama, produtos de corrosão e outros precipitados inorgânicos. Estes depósitos são crescimentos biológicos, de sólidos suspensos, de lodo, de produtos de corrosão e elementos inorgânicos.

A seguir são apresentados os principais problemas que devem ser considerados em tratamento de água para os diversos tipos de sistemas de resfriamento citados por MANCUSO (2002) e METCALF e EDDY (2003).

Em Sistemas De Circuitos Abertos, Sem Circulação De Água

Os Sólidos suspensos, da decantação das águas previamente utilizadas em resfriamento para a remoção de partículas acima de 0,1 mm, as partículas menores

como silte e coloidais, quando em suspensão, podem causar depósitos internos nesses sistemas provocando erosão nas paredes dos equipamentos e, em áreas de estagnação, depósitos que restringem o volume de água circulada.

As crostas são depósitos resultantes da existência de sais dissolvidos na água do sistema que se formam na superfície de troca térmica, sendo aderentes, precipitados ou cristalizados à superfície.

Os depósitos biológicos são a deposição nos trocadores de calor com algas, fungos e bactérias, causando a diminuição na transferência de calor e no fluxo de água, possível obstrução e podem propiciar a formação de pilhas de aeração diferencial, com intensa corrosão sob o depósito.

Os tipos de corrosão que aparecem com mais frequência são galvânicas, ou por metais dissimilares e aeração diferencial. A corrosão galvânica é decorrente do uso no equipamento de diferentes metais tais como aço carbono, aço inox, ferro fundido, cobre e suas ligas, etc. A corrosão por aeração diferencial é devida à presença de depósitos porosos na superfície metálica, formados por limo bacteriano ou lama.

Problemas de erosão por cavitação podem ser provocados por sólidos suspensos, velocidade de fluxo elevada e zonas de depressão nos sistemas abertos, sem ou com recirculação de água e em sistemas fechados, podem provocar problemas de erosão por cavitação.

Problemas Em Sistemas Em Circuitos Semi Abertos, Com Recirculação De Água

Os depósitos tem origem a partir de:

- água com decantação deficiente, provocando pós-precipitação no sistema;
- deficiência na filtração, permitindo a passagem de flocos da decantação;
- absorção de poeira do meio ambiente;
- teores elevados de íons de ferro (II), Fe^{2+} , que pela ação das bactérias ferro oxidantes são oxidados, e posteriormente precipitados nas tubulações.

As crostas surgem da presença de dureza temporária e da presença de silicatos solúveis junto a sais de magnésio.

O controle do fouling é alcançado através da adição de dispersantes químicos que impedem com que as partículas se agreguem e conseqüentemente se depositem. O resultado destes acúmulos é a inibição da transferência de calor em trocadores de calor.

Os depósitos metálicos podem aparecer na superfície de tubos de aço-carbono, decorrentes da redução de sais metálicos solúveis em água e que nela foram colocados para determinados fins, ou então como produto de ataque de um meio corrosivo.

As borras ou lamas de fosfato são comuns quando no tratamento da água se utilizam tripolifosfatos ou polimetafosfatos de sódio empregados como inibidores de corrosão, agentes anti-incrustantes e como dispersantes.

Problemas Em Sistemas Fechados, Com Circulação De Água

Em sistemas de água gelada os problemas estão restritos à corrosão, principalmente provocada pelas diferenças de potenciais entre os diferentes materiais utilizados. Em sistemas de água quente são usados para calefação ou para processos em indústrias alimentícias quando se requer água quente ou superaquecida, com temperatura variando entre 80 a 160°C. Esses sistemas podem apresentar problemas de corrosão ou incrustações, quando a água apresentar dureza (MANCUSO, 2002).

4.2.3 Diretrizes e Critérios de Utilização de Efluentes para Reúso Industrial

Para minimizar os problemas descritos no tópico anterior, foram desenvolvidos padrões de qualidade de água de reúso para torres de resfriamento.

A Tabela 4.2 apresenta os padrões recomendados pela EPA (2004) para água em sistemas de resfriamento.

TABELA 4.2 - DIRETRIZES PARA REÚSO DE ÁGUA INDUSTRIAL (EPA - 2004)

| TIPO DE RESFRIAMENTO | TRATAMENTO RECOMENDADO | QUALIDADE DA ÁGUA ¹ | MONITORAMENTO | DISTÂNCIA MÍNIMA DE SEGURANÇA ² | COMENTÁRIOS |
|--|--|---|--|--|--|
| Resfriamento em única passagem (circuito aberto) | Secundário. Desinfecção. | pH = 6 a 9 DBO ≤ 30 mg/L STD ≤ 30 mg/L CTT ≤ 200/100 mL ⁴ , ⁵ , CRL 1 mg/L (mínimo) ³ | pH – semanal DBO – semanal Turbidez – diário CTT – diário CRL contínuo | 90 metros das áreas acessíveis ao público. | - O vapor/spray levado pelo vento não deve alcançar áreas acessíveis aos trabalhadores e ao público |
| Recirculação em torres de resfriamento. | Secundário Desinfecção (Coagulação química e filtração podem ser necessárias). | DBO ≤ 30 mg/L STD ≤ 30 mg/L CTT ≤ 200/100 mL ⁴ , ⁵ , CRL 1 mg/L (mínimo) ³ | pH – semanal DBO – semanal Turbidez – diário. CTT – diário. CRL - contínuo | 90 metros das áreas acessíveis ao público. Esta restrição pode ser eliminada se uma desinfecção mais severa for realizada. | - O vapor/spray levado pelo vento não deve alcançar áreas acessíveis aos trabalhadores e ao público; - Tratamento adicional é habitualmente empregado por usuários para prevenir incrustações, corrosão, atividade biológica, entupimento e espuma. |
| Outros usos industriais | Depende das especificações locais de cada usuário | | | | |

FONTE: EPA(2004)

1 Salvo notações diferentes, a aplicação dos limites de qualidade recomendados para água recuperada é no ponto de descarte das instalações de tratamento

2 Distâncias mínimas de proteção são recomendadas para proteger as fontes de água potável de contaminações e para proteger pessoas de riscos a saúde devido à exposição à água recuperada

3 Tempo mínimo de contato: 30 minutos

4 Baseado numa média de 7 dias (técnicas usadas: fermentação em tubos ou filtro membranas)

5 O numero de CTT não deve exceder 800/100mL em nenhuma amostra. Algumas lagoas de estabilização podem estar aptas a atingir estes limites de coliformes sem desinfecção

Segundo MANCUSO (2001), o planejamento de um programa de reúso de água para fins industriais deve iniciar-se pelo estudo das unidades de resfriamento existentes no local, o que foi comprovado pela pesquisa de mercado efetuada para a

Sabesp quando do lançamento do seu Plano de Reaproveitamento de Águas para o Abastecimento das Indústrias do Estado de São Paulo.

Em um estudo efetuado pela empresa CH2MHILL em parceria com a SABESP (2002), a proposta de caracterização necessária para a água de reúso pode ser observada na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS DA ÁGUA DE REÚSO PARA FORNECIMENTO PARA SISTEMAS SEMI-ABERTOS DE RESFRIAMENTO E USOS NÃO POTÁVEIS IRRESTRITOS PROPOSTA PELA SABESP (2002)

| PARÂMETROS | VALOR MÁXIMO (mg/L) |
|--|---------------------|
| Alcalinidade (CaCO_3) | 100 |
| Cloretos | 100 |
| DBO_5 | 10 |
| Nitrogênio Amoniacal | 1 |
| pH | 6,0 – 9,0 |
| Sílica Total (SiO_2) | 50 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | 500 |
| Sólidos Suspensos Totais | 5 |
| Sulfatos (SO_4) | 200 |
| Turbidez (UT) | 2 |
| Coliformes Termotolerantes (NMP/ 100 mL) | 0 |

FONTE: SABESP (2002)

No Projeto da Cidade de Mauá (SAMA), a qualidade da água de reúso em sistemas de resfriamento requisitados pólo petroquímico de Mauá pode ser observado na Tabela 4.4 (ENGEVIX, 2000).

TABELA 4.4 - PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA ÁGUA DE RESFRIAMENTO ADOTADA NO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ

| PARÂMETROS | LIMITES EXIGIDOS |
|-----------------------------------|------------------|
| Cloretos (Cl) | 70 mg/L |
| Sólidos Dissolvidos Totais - SDT | 200 mg/L |
| Dureza (CaCO ₃) | 70 mg/L |
| Alcalinidade (CaCO ₃) | 50 mg/L |
| pH | 6,5 – 7,5 |
| Demanda Química de Oxigênio - DQO | 2 mg/L |
| Sólidos Suspensos Totais - SST | 2 mg/L |
| Turbidez | 1 UT |
| Cloro Livre | 0,5 – 1 mg/L |
| Detergentes | < 1,0 mg/L |
| Amônia (NH ₄ -H) | 1,0 mg/L |
| Fosfato (PO ₄) | 1,0 mg/L |
| Sílica (SiO ₂) | 10 mg/L |
| Alumínio (Al) | 0,3 mg/L |
| Ferro (Fe) | 0,3 mg/L |
| Manganês (Mn) | 0,1 mg/L |
| Enxofre (S) | 0 mg/L |
| Zinco (Zn) | 0,1 mg/L |
| Sulfatos | 50 mg/L |

4.2.4 Tecnologia Recomendada para Produção de Água de Qualidade Compatível com o Uso Industrial

A definição da escolha do sistema de tratamento a ser adotado é um passo importante para o êxito da implantação de um projeto de reúso (MANCUSO, 2001). Os tratamentos para este tipo de reúso são muito específicos e dependem das atividades desenvolvidas por cada indústria e pelo tipo de processo.

A OMS recomenda uma combinação de tratamentos de caráter geral que pode ser aplicada às águas residuárias para uso na indústria.

CULP et al. (1980) ENGEVIX (2000) e MANCUSO (2001) desenvolveram seqüências de processos capazes de produzir efluentes de qualidades variadas,

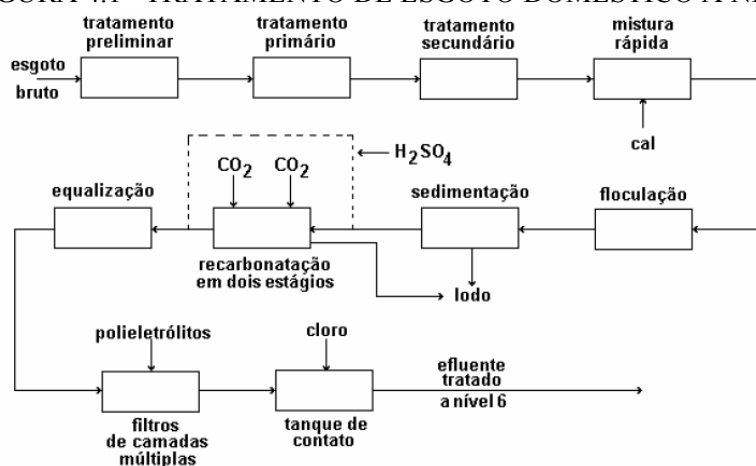
destinadas a diversos usos potenciais. Em cada seqüência a ordem dos processos baseia-se em experiência operacional de instalações, e respectivas relações entre os processos.

Os processos e operações unitárias são acrescentados sucessivamente obtendo-se níveis de tratamento cada vez melhores, chegando a 13 níveis no total. A definição dos níveis foi feita a partir de um patamar mínimo de qualidade do efluente, (nível 1), evoluindo para outros subseqüentes, na medida em que se adicionam processos unitários (CULP et al., 1980 apud ENGEVIX, 2000; MANCUSO, 2001)

Seguindo esta metodologia, o nível de tratamento mais adequado para ser utilizado em torres de resfriamento de sistemas semi abertos, com recirculação de água seria o nível 6. É importante o fato de que a escolha de uma determinada seqüência de processos unitários recomendada através dessa metodologia é preliminar, sendo indicado um estudo piloto desenvolvido em laboratório.

A Figura 4.1 mostra o fluxograma correspondente ao sistema de tratamento que deve ser projetado para a produção de água de qualidade de nível 6, partindo-se de esgoto doméstico, de acordo com a escala de CULP. et al.

FIGURA 4.1– TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6

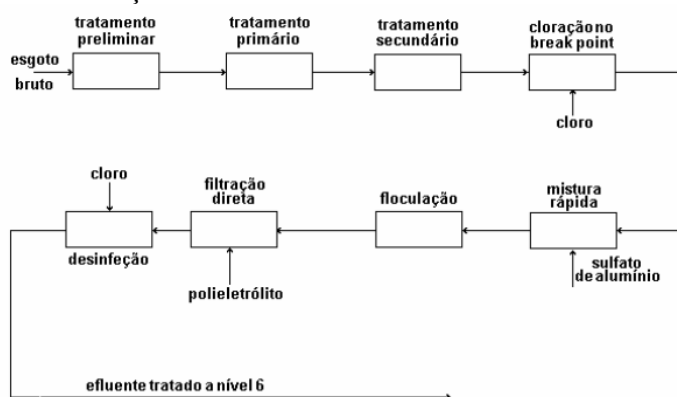


FONTE: MANCUSO (2001)

Outra alternativa para a produção de água para sistemas semi- abertos de resfriamento com recirculação de água, seria o ilustrado na Figura 4.2 , utilizada dentro do Programa de Conservação do Sistema Cotia da Sabesp, no dimensionamento

das unidades de reúso para fins industriais em torres de resfriamento, a partir do efluente da ETE Barueri.

FIGURA 4.2 – TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6 – PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA COTIA



FONTE: MANCUSO, 2001

Como está representado na Figura 4.2, além do tratamento acima referido, chamado de tratamento externo, há necessidade de um tratamento interno que normalmente pode incluir a adição de ácidos para controle de pH, de biocidas e inibidores de depósitos, conforme recomendado por ASANO (1998).

4.2.5 Sistemas de Reúso de Água

Um sistema de reúso de água é composto, basicamente, por um sistema de pós-tratamento do efluente, por um sistema de armazenamento e por um sistema de distribuição, que pode ser realizado através de rede dupla de abastecimento ou através de caminhões-pipa.

O sistema de pós-tratamento do efluente, conforme mencionado anteriormente, é definido conforme os padrões de qualidade requeridos para determinado uso e as características do efluente, de forma que o efluente deve estar muito bem caracterizado qualitativamente.

O sistema de armazenamento de água de reúso é semelhante ao de água potável, devendo ser previsto um reservatório com capacidade para atender as flutuações da demanda de água, sendo que o volume necessário para o armazenamento. O reservatório deve estar devidamente sinalizado com a indicação de água de reúso.

O sistema de distribuição de água de reúso pode ocorrer de duas formas, através de redes duplas de distribuição ou através de caminhões – pipa.

Os sistemas duplos de distribuição podem ser desenvolvidos de dois modos. Uma consiste na construção de sistema “city-wide” em que o esgoto retorna para a ETE antes de ser redistribuído para a população. Um segundo modo é o uso de sistemas em pequena escala individual para uso de águas cinzas dentro de edificações. Segundo ASANO (1998), para o uso de águas recuperadas a proteção à saúde pública é o principal interesse de duplos sistemas de distribuição de água de reúso.

Quando sistemas existentes são adaptados, o alto custo de instalação de um segundo sistema de distribuição pode freqüentemente render um projeto economicamente inviável; entretanto se sistemas duplos são instalados como parte de um novo desenvolvimento a economia é mais favorável ASANO (1998).

O sistema duplo de abastecimento é semelhante ao sistema de água potável, sendo constituído por tubulações, bombas e reservatórios. A fim de evitar conexões cruzadas e possível ruptura na rede, deve haver controle e manutenção rígidos no sistema de reúso, obedecendo a um conjunto de critérios e normas pré – estabelecidos que variam de acordo com os Estados e países, entretanto a identificação da rede de distribuição com cores diferenciadas é uma premissa básica, também podem ser utilizados diferentes materiais nas tubulações de água potável e na água de reúso e as disposições dos tubos na rede de forma a evitar conexões.

Segundo SANTOS (2003), a variação na demanda de água de reúso, que pode ocorrer diária ou sazonalmente, de acordo com o tipo de consumo, gera picos de consumo e deve ser levada em consideração no dimensionamento e estimativas de custos de tubulações, reservatórios e bombas. Na Tabela 4.5 encontram-se alguns parâmetros recomendados pelo autor para serem seguidos para a execução do projeto de reúso de água.

TABELA 4.5 - CRITÉRIOS DE PROJETO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

| TIPO | COMPONENTE DO SISTEMA DISTRIBUIDOR | CRITÉRIOS DE PROJETO |
|-------------|------------------------------------|--|
| Tubulações | Critério determinante | Condições de funcionamento no pico da demanda |
| | Velocidade máxima | 3 m/s |
| | Velocidade desejável | 0,9 – 1,5 m/s |
| | Velocidade mínima | 0,3 m/s |
| | Perda de carga do projeto | 10 m/1000 m de tubulação |
| Elevatórias | Critério determinante | Condições de funcionamento no pico da demanda ou na demanda máxima diária, dependendo da disponibilidade da reservação |
| | Número mínimo de bombas | 3 |
| Reservação | Número mínimo de bombas de reserva | 1 |
| | Critério determinante | Condições de funcionamento no pico da demanda |
| | Capacidade mínima | 2/3 da demanda de pico diária |

FONTE: SANTOS (2003)

Os sistemas de reúso de água devem estar devidamente sinalizados para que possam ser identificados claramente pelo público e funcionários. O sistema deva ter códigos através de diferente coloração e etiquetas que identifiquem as diferentes classes de água. Os dizeres para água de reúso devem informar “Cuidado – água de reúso, não beba” ou “Não beba esta água, em letras pretas impressas em caixa alta com 0,5 polegadas de altura, em fundo roxo. A faixa de sinalização deve ter pelo menos 3 polegadas. As tubulações, válvulas, encanamentos também devem ter cor diferenciada. A cor roxa (Pantone 512 ou 522) é usada para esta finalidade.

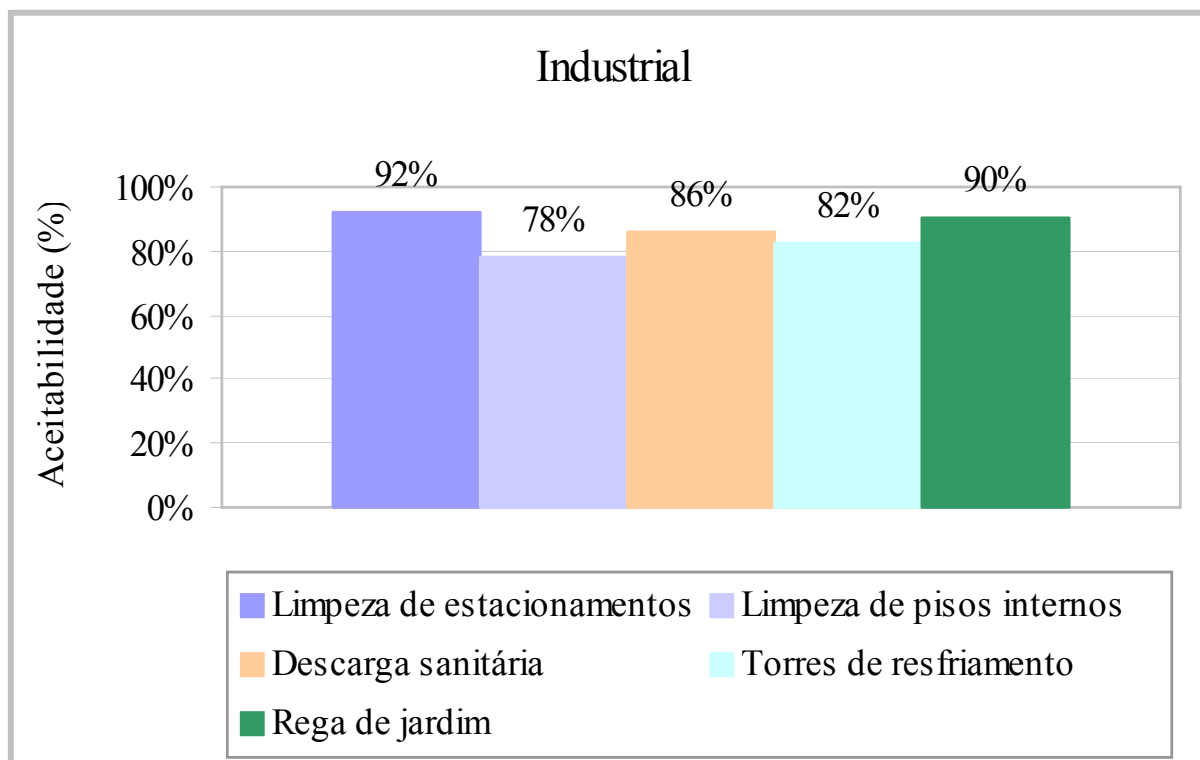
FLORIO et al. (2002) destacam, que pode-se chegar a uma economia de até 40% do valor praticado pelo m³ de água de abastecimento público da Sabesp, para volumes superiores a 50m³/mês através de uma logística de distribuição, onde, verificaram a viabilidade econômica da distribuição do efluente tratado através de caminhão-pipa com capacidade de 20m³ para empresas com frota numerosa de veículos e sendo a distribuição realizada nos períodos noturnos, onde a intensidade de tráfego é menor.

3.3.8. Aceitabilidade

MALINOWSKI (2006) avaliou a aceitabilidade do usuário na cidade de Curitiba em relação ao reúso de efluentes através de questionário, sendo que a finalidade deste estudo foi à verificação da reação da população frente à proposta de reúso de água.

Na Figura 4.3 está representada graficamente a aceitabilidade da população frente ao reúso industrial, segundo MALINOWSKI (2006). Percebe-se a boa aceitabilidade em relação ao reúso de efluentes, entretanto, o maior índice foi nas áreas externas da indústria.

FIGURA 4.3- ACEITABILIDADE PÚBLICA PARA OS SETOR INDUSTRIAL



FONTE: MALINOWSKI, 2006

SANTOS e MALINOWSKI (2005) apresentaram uma aplicação da metodologia contida no Programa de Conservação da Água no Meio Urbano (PCA), estruturado para atender a duas linhas de atuação: a conservação da água nas edificações e na infra-estrutura sanitária. A linha de atuação respectiva às edificações corresponde ao Programa de Conservação da Água nas Edificações (PCAE), enquanto a referente à infra-estrutura pertence ao Programa de Conservação da Água na Infra-estrutura Sanitária (PCAI).

O PCAI contempla as diretrizes para o planejamento de ações de conservação de água voltadas para o reúso de água em bacias hidrográficas. Através do método foram avaliadas ações de reúso de água voltadas ao atendimento dos setores industrial, agrícola e urbano no entorno de duas ETEs sob aspectos econômicos, do benefício gerado, do risco sanitário associado e do impacto.

Para tanto, utilizaram a Análise Multicritério como o Sistema de Apoio à Decisão referencial no processo de hierarquização das ações, por esse tipo de análise trabalhar com critérios de ordem qualitativas e mensuráveis quantitativamente.

4.3 MÉTODO

O método aplicado no desenvolvimento deste trabalho foi estruturado nas seguintes etapas:

1º ETAPA: Inicialmente foi caracterizado o setor industrial do município de São José dos Pinhais, sendo realizado um levantamento das indústrias e analisadas espacial e quantitativamente.

2º ETAPA: A seguir, foram levantadas várias demandas no entorno da ETE, aproximadamente 10km, sendo feita a caracterização de cada usuário em termos de requisitos qualitativos e quantitativos.

3º ETAPA: Foi prevista a concepção de três ações de reúso industrial. Para tanto, as ações foram concebidas em termos de relações oferta e demanda, concepção de sistema de produção, concepção de sistema de distribuição da água de reúso e análise de custos.

4.3.1 Caracterização do Setor Industrial – Análise Espacial e Quantitativa

São José dos Pinhais possui cerca de 1.000 indústrias dos mais variados setores, sendo o segundo pólo automobilístico do país. O constante crescimento do número de indústrias no município tornou-se possível devido ao plano municipal de incentivo empresarial, que prevê reduções tributárias e de alíquotas às novas empresas.

A Tabela 4.6 apresenta o número de estabelecimentos industriais de São José dos Pinhais segundo as atividades econômicas, do ano de 2004 (IPARDES, 2006).

TABELA 4.6- NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS SEGUNDO AS ATIVIDADES ECONÔMICAS SITUADOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS

| ATIVIDADES ECONÔMICAS | Nº de ESTABELECIMENTOS |
|--|------------------------|
| Indústria de extração de minerais | 22 |
| Indústria de produtos minerais não metálicos | 89 |
| Indústria metalúrgica | 152 |
| Indústria mecânica | 56 |
| Indústria de materiais elétricos e de comunicação | 22 |
| Indústria de materiais de transporte | 51 |
| Indústria da madeira e do mobiliário | 118 |
| Indústria do papel, papelão, editorial e gráfica | 28 |
| Indústria da borracha, fumo, couros, peles | 23 |
| Indústria química, prod.farmacêuticos,veterinário,perfumaria sabões,velas e material plástico | 106 |
| Indústria têxtil, do vestuário e artefatos de tecidos | 41 |
| Indústria de calçados | 2 |
| Indústria de produtos alimentícios, bebidas e álcool etílico | 77 |
| Serviços industriais de utilidade pública | 5 |

FONTE: IPARDES , 2006

De acordo com um levantamento cadastral realizado pela SUDERHSA no ano de 1999, as indústrias localizadas na bacia do Alto Iguaçu tiveram um consumo total de cerca de 850 l/s, oriundos das fontes abastecedoras conforme mostrado na Tabela 4.7.

TABELA 4.7- FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL E DEMANDA QUANTITATIVA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS

| Fonte de suprimento | Vazão média (L/s) | (%) |
|-------------------------|-------------------|-------|
| Sistema Público * | 140 | 16,5 |
| Mananciais Superficiais | 570 | 67,0 |
| Manancial Subterrâneo | 140 | 16,5 |
| Total | 850 | 100,0 |

FONTE: SUDERHSA (2000)

*Não está sendo considerada a ETA do Rio Pequeno, que abastece a Renault

Para a caracterização das indústrias potencialmente consumidoras da água de reúso, inicialmente foi feita a identificação das indústrias localizadas em São José dos Pinhais. Para isto, foram utilizados os bancos de dados da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (2006), do banco de dados da SUDERHSA (2006) das indústrias outorgadas no município e dos Grandes Usuários de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Iguaçu da SUDERHSA (2006).

Após a identificação e localização das indústrias em um mapa do município foi determinada a área de influência do estudo. A princípio, havia sido delimitado um raio de 6 km ao redor da ETE Martinópolis, porém verificou-se que as possibilidades para reúso industrial poderiam ser estendidas para um raio de 10 km, que engloba um universo de indústrias mais significativo.

A utilização de um raio de influência para levantamento da demanda foi baseado em estudo da SABESP (2002), pela facilidade de viabilizar economicamente a instalação de rede de abastecimento específica para água de reúso. Da mesma forma GIORDANI (2002), MALINOWSKI (2005), GOHRINGER (2006) utilizaram raios de influência em seus estudos sobre reúso de efluentes tratados em Curitiba e região metropolitana.

Isto posto, com auxílio do software ArcView e do mapa de uso e ocupação do solo, foi elaborado um mapa com as indústrias do entorno da ETE. Na elaboração do mapa houve a necessidade de compatibilizar os dados, primeiro por haver um mapa digitalizado da região de estudo no software Auto-Cad e outro de São José dos

Pinhais em ArcView, optando-se por trabalhar com o software ArcView . Depois, os dados encontravam-se em diferentes coordenadas geográficas, tendo que ser convertidos para coordenadas geográficas UTM (Universal Transverse Mercator), sendo estas coordenadas obtidas junto a SUDERHSA.

Do exposto acima, a análise quantitativa partiu da elaboração de uma planilha, onde foram identificadas as indústrias do município por setores de atuação e suas respectivas demandas, estimadas a partir de dados de vazão de captação (m^3/h) e horas de bombeamento.

As indústrias com maior potencial de se tornarem usuárias das águas residuárias provenientes da ETE Martinópolis foram divididas em grupos conforme suas localizações e classificadas por setor, onde para cada grupo ou grupos foram concebidas ações para o atendimento com o efluente tratado. Para que o reúso se torne viável economicamente foram traçadas ações que atendam o agrupamento de indústrias, formadoras de pólo industrial. A escolha se fundamenta no fato de que quanto maior o volume de água ofertado, menor o custo da água de reúso.

Foram formados 8 grupos, denominados G1, G2, ..., G8. Ao todo foram definidas 3 ações, denominadas Ação Industrial 01 (AI - 01), Ação Industrial 02 (AI - 02) e Ação Industrial 03 (AI - 03). Nas colunas 3, 4 e 5 da TABELA 4.8 estão a localização das indústrias, o setor ao qual pertencem e o tipo de fonte de água. A vazão em L/s foi calculada a partir de informações da SUDERHSA (2006) da vazão de captação em m^3/h e horas de bombeamento das indústrias outorgadas. Destas indústrias apenas duas são abastecidas em sua totalidade pela rede pública de abastecimento. Foram medidas as distâncias da ETE à supostos reservatórios que atendem aos grupos de indústrias com o auxílio do mapa ilustrado na Figura 4.4. As distâncias são importantes no cálculo do custo de distribuição da água residuária. Desta forma, elaborou-se a Tabela 4.8 , estando a demanda expressa em L/s.

Uma observação pertinente é a justificativa da desconsideração neste trabalho do entorno da ETE Martinópolis ao Norte, onde fica o município de Piraquara. A ETE está situada na divisa dos municípios de São José dos Pinhais e Piraquara, todavia, a possibilidade de reúso desta para este município nas proximidades da ETE foi

considerada inviável em virtude da ocupação do solo ser de área de preservação e estar entre as barragens projetadas dos rios Pequeno e Piraquara II.

Quantitativamente, é importante destacar que a demanda foi estimada a partir do banco de dados de grandes usuários de água e das indústrias que possuem outorga, ou seja, da demanda outorgada, com exceção das duas indústrias apresentadas na Tabela 4.8. Entretanto as indústrias também são atendidas pela rede pública de abastecimento, a SANEPAR.

4.3.2 Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluente da ETE Martinópolis para o Setor Industrial

Sob o ponto de vista qualitativo diversos países já dispõem de normas, regulamentos e diretrizes que estabelecem os parâmetros de qualidade exigíveis, especialmente para o reúso direto. Para a utilização como água de resfriamento torna-se necessário o atendimento a parâmetros de qualidade mais restritivos.

Foram comparados os valores de parâmetros encontrados na ETE Martinópolis com os padrões utilizados para torres de resfriamento pelo Pólo Petroquímico de Mauá (SABESP, 2002), padrões da EPA (2004) para resfriamento com recirculação, e os parâmetros da Sabesp (SEMURA et al., 2005). O efluente final da ETE não foi submetido a todas as análises, não sendo possível a comparação com todos os parâmetros de qualidade requeridos.

Considerou-se oportuno a comparação com valores utilizados neste país, mais especificamente em São Paulo, visto o pioneirismo e experiência do Estado em nosso país no que diz respeito ao reúso para fins industriais e urbano.

4.3.3 Concepção das Ações de Reúso Industrial

Foram previstas ações de reúso de água pelo setor industrial a partir dos cenários idealizados e da localização das possíveis demandas, sendo utilizados como critério as vazões de demanda, distâncias entre ETE e usuário, qualidade do efluente fornecido pela ETE, custos preliminares e avaliação técnica preliminar.

Quantitativamente, os tipos de uso industrial da água de reúso considerados foram para torres de resfriamento, lavagem de veículos e uso em áreas externas. Qualitativamente, os padrões de qualidade analisados foram para a adequação do efluente para torres de resfriamento, visto que para lavagem de veículos e uso em áreas externas foram discutidos nos capítulo de reúso urbano.

O método utilizado na concepção das ações foi descrito anteriormente, sendo o mesmo proposto para o reúso agrícola, item 2.3.2.1, página 61, tanto no que tange o sistema de distribuição quanto na análise econômica.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez caracterizado o setor industrial no entorno da ETE Martinópolis bem como os aspectos qualitativos e quantitativos do efluente da ETE, foi avaliado o potencial de reúso de água pelas indústrias na área em seu entorno.

4.4.1 Avaliação Espacial e Quantitativa do Potencial de Reúso dos Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Industrial

A partir do levantamento industrial efetuado na área de estudo foram identificadas cerca de trinta indústrias potencialmente consumidoras das águas residuárias tratadas provenientes da ETE Martinópolis.

A Tabela 4.8 apresenta as indústrias classificadas por ramo de atividade. A demanda de água industrial verificada é de aproximadamente 250 L/s, sendo que a Estação de Tratamento de Água Rio Pequeno - ETA Rio Pequeno – SANEPAR, trata 190 L/s de água derivada da Bacia do Rio Pequeno, para o abastecimento do Complexo Industrial Ayrton Senna (Renault) e circunvizinhos, desta forma, a demanda para as outras indústrias é de 60 L/s.

A oferta de efluentes da ETE é de aproximadamente 80 L/s. A estação foi projetada para atender uma população de 7.100 habitantes, com uma vazão de projeto de 30 L/s, entretanto, percebe-se a vazão de operação está quase três vezes acima deste valor.

O mapa ilustrado na Figura 4.4 e a auxiliam o entendimento da análise

realizada quanto a possibilidade de reúso do efluente da ETE Martinópolis.

Da figura 4.4 observa-se que no entorno aproximado de 6 km da ETE estão identificadas 20 indústrias, divididas em 6 grupos. Aumentando-se o raio de abrangência para 10 km, encontra-se um pólo industrial expressivo.

Na análise de oferta do efluente para as indústrias 15 e 17 do grupo G5 verificou-se que apesar da proximidade, não seria viável a aquisição desta água devido ao fato de estarem isoladas, não formando pólos industriais, e devido a demanda requerida. Para a indústria 30 seria viável caso houvesse o interesse da indústria 16, do grupo G4, pois a demanda de água desta indústria é alta e sua localização muito próxima a ETE, minimizando os custos de distribuição.

Da mesma forma, não foram definidas ações para o grupo G6 devido sua localização, estando isolado e ainda mais afastado da ETE, e também pelo fato das duas indústrias formadoras do grupo serem do setor alimentício, o que aumentaria os cuidados e os riscos na utilização do efluente tratado.

O grupo G1 é composto por 6 indústrias, 3 delas do setor cimenteiro. Estão distantes em média 5 km da ETE. Estas 6 indústrias poderiam reutilizar uma vazão de 8 L/s. O acesso da ETE a este grupo é facilitada pela sua localização e facilidade de acesso.

O grupo G2 é formado por 3 indústrias, dos ramos farmacêutico, mecânico e de eletrodomésticos, estando distantes aproximadamente 7 km da ETE. A vazão estimada para este grupo foi de 5,4 L/s.

Já a distância média ao grupo G3 é de 7,5 km, e a demanda para este grupo é de 3,57 L/s. O grupo é formado por 5 indústrias, 3 delas do setor de plásticos.

A demanda do grupo G7, formado por 6 indústrias é de 8 L/s e a distância até a ETE é de cerca 10 km. O grupo G8 conta com 4 indústrias e está distante da ETE pouco mais de 10 km. A demanda do grupo é de 8,6 L/s.

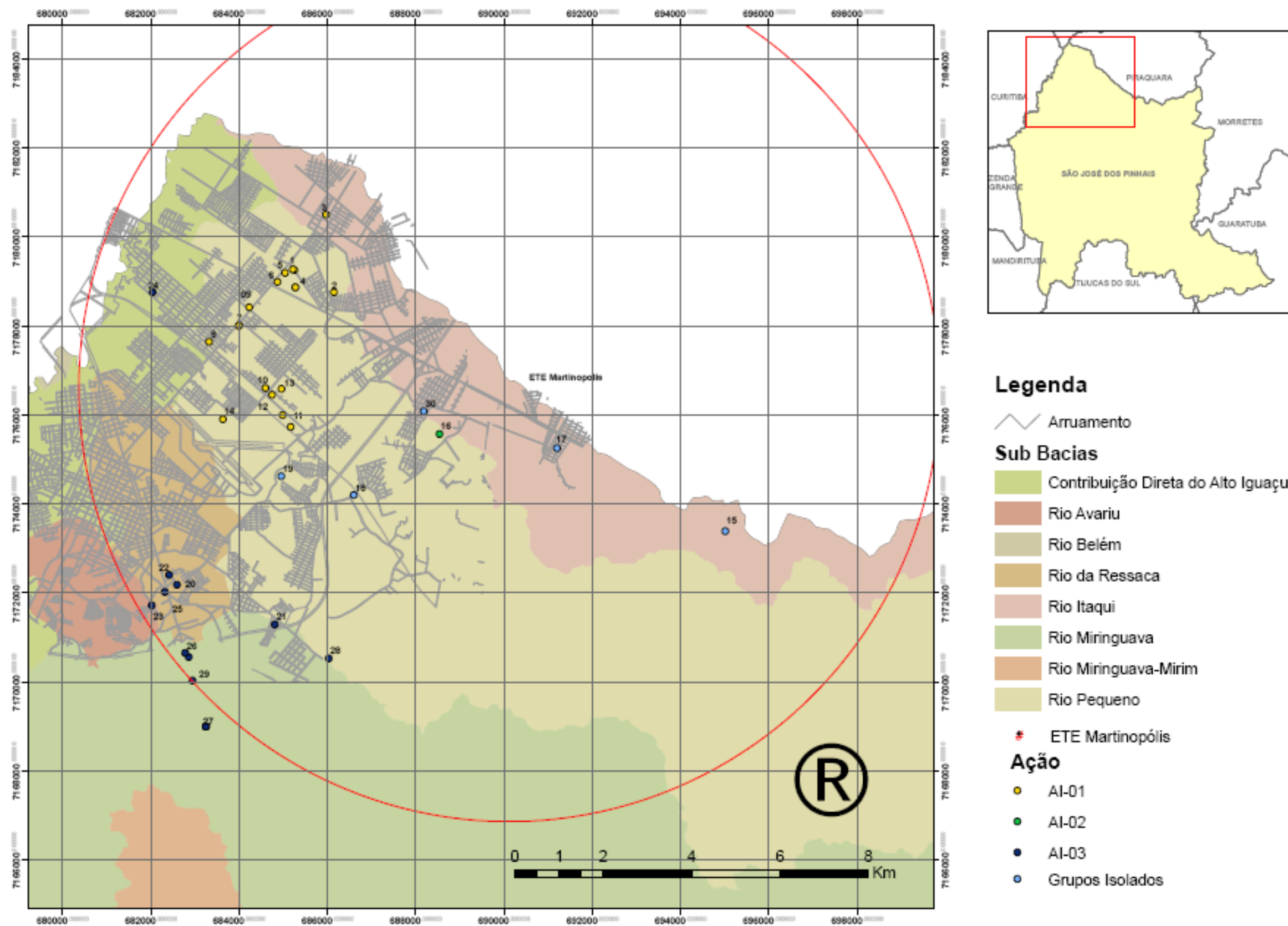
Observa-se que as demandas para os grupos G1, G7 e G8 são próximas, em torno de 8 L/s.

Ressalta-se que na a distância é da ETE até os supostos reservatórios, localizados para atender a diversos grupos, de acordo com as ações estabelecidas. Da mesma forma, os resultados aqui são parciais, refletindo a demanda dos grupos. No estabelecimento das ações foi possível analisar de forma mais concisa os usuários e as demandas.

TABELA 4.8 - LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS, ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA E DISTÂNCIA DOS GRUPOS EM RELAÇÃO À ETE

| | GRUPOS | LOCALIZAÇÃO | SETOR | FONTE DE ÁGUA | VAZÃO DE CAPTAÇÃO (m³/h) | HORAS DE BOMBEAMENTO | VOLUME TOTAL DIA | VOLUME TOTAL/24 h (m³/h) | VOLUME TOTAL (L/S) | Distância ETE - RV (km) |
|--------|--------|--------------|--------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| AÇÃO 1 | G1 | 1 | Metalmúrgica | Poço 1 | 3 | 2 | 6 | 0,23 | 0,07 | 4,4 |
| | | 2 | Cimenteira | Poço 1 | 3,79 | 10 | 38 | 1,38 | 0,44 | |
| | | 3 | Mecanotécnica | Poço 1 | 5 | 10 | 50 | 2,08 | 0,58 | |
| | | 4 | Pré- moldados | Poços 1 e 2 | 5 | 20 | 100 | 4,17 | 1,16 | |
| | | | | | 40 | 10 | 400 | 16,67 | 4,63 | |
| | | 5 | Fibrocimento | Poço 1 | 4,08 | 24 | 98 | 4,08 | 1,13 | |
| | | 6 | Cimento | Poço 1 | 1 | 1 | 1 | 0,04 | 0,01 | |
| | | TOTAL | | | 56,07 | | 692,82 | 28,87 | 8,02 | |
| | G2 | 7 | Eletrodomésticos | Poços 1 e 1 | 4,8 | 12 | 57,6 | 2,40 | 0,67 | |
| | | | | | 23 | 6 | 138 | 5,73 | 1,60 | |
| | | 8 | Mecânica | Poço 1 | 10 | 16 | 160 | 6,67 | 1,85 | |
| | | 9 | Farmacêutica | Rede pública | 4,57 | 24 | 109,68 | 4,57 | 1,27 | |
| | | TOTAL | | | 57,38 | | 465,28 | 19,39 | 5,39 | |
| | G3 | 10 | Maquinário | Poço 1 | 4,5 | 18 | 81 | 3,38 | 0,94 | |
| | | 11 | Química | corrego | 3,6 | 24 | 86,4 | 3,60 | 1,00 | |
| | | | | Poço 1 | 1,2 | 12 | 14,4 | 0,60 | 0,17 | |
| | | 12 | Plástico e Metal | Poço 1 | 1,39 | 6 | 8,34 | 0,33 | 0,10 | |
| | | 13 | Plásticos | Poço 1 | 4,4 | 16 | 70,4 | 2,93 | 0,81 | |
| | | 14 | Plásticos | Poço 1 | 4 | 12 | 48 | 2,00 | 0,56 | |
| | | TOTAL | | | 15,09 | | 308,54 | 12,86 | 3,57 | |
| A2 | G4 | 16 | Automotiva | Rede pública | | | 0 | 0,00 | 190,00 | 2,0 |
| | | TOTAL | | | | | | | 190,00 | |
| AÇÃO 3 | G5 | 15 | Impressão | Poço 1 | 3,29 | 18 | 59,22 | 2,47 | 0,69 | 1,3 |
| | | 30 | Embalagens | Poço 1 | 1 | 18 | 18 | 0,73 | 0,21 | |
| | | 17 | Farmacêutica | Poço 1 | 4,19 | 24 | 100,56 | 4,19 | 1,16 | |
| | | TOTAL | | | 8,48 | | 177,78 | 7,41 | 2,06 | |
| | G6 | 18 | Bebidas | Poço 1 | 6 | 4 | 24 | 1,00 | 0,28 | |
| | | 19 | Alimentício | Poço 1 | 13 | 16 | 208 | 8,67 | 2,41 | |
| | | TOTAL | | | 19 | | 232,00 | 9,67 | 2,69 | |
| | G7 | 20 | Indústria Têxtil | Poços: 1,2,3,4, | 64 | 16 | 1024 | 42,67 | 11,83 | |
| | | 21 | Estamparia | Poço 1 | 3 | 20 | 60 | 2,50 | 0,69 | |
| | | 22 | Limpeza Industrial | Poço 1 | 8 | 8 | 64 | 2,67 | 0,74 | |
| | | 23 | Metalmúrgica | Poço 1 | 1,5 | 8 | 12 | 0,50 | 0,14 | |
| | | 24 | Alimentício | Poços 1,2 | 7 | 12 | 84 | 3,30 | 0,97 | |
| | | | | | 25 | 12 | 300 | 12,50 | 3,47 | |
| | | 25 | Plásticos | Poço 1 | 3 | 1 | 3 | 0,13 | 0,03 | |
| | | TOTAL | | | 19 | | 1547,00 | 64,46 | 17,91 | |
| | G8 | 26 | Indústria Têxtil | Poços: 1,2 | 20 | 18 | 360 | 15,00 | 4,17 | |
| | | 27 | Plásticos | Poços: 1,2,3,4, | 9,50 | 10 | 95 | 3,96 | 1,10 | |
| | | | | | 7,50 | 6 | 45 | 1,88 | 0,52 | |
| | | | | | 7,50 | 6 | 45 | 1,88 | 0,52 | |
| | | | | | 9,00 | 8 | 72 | 3,00 | 0,83 | |
| | | 28 | Indústria Têxtil | Poço 1 | 3,2 | 20 | 64 | 2,67 | 0,74 | |
| | | 29 | | Poço 1 | 8 | 8 | 64 | 2,67 | 0,74 | |
| | | TOTAL | | | | | 745 | 31,04 | 8,62 | |

FIGURA 4.4 – MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS POTENCIAIS DE REÚSO NO MUNICÍPIO



4.4.2 Avaliação Qualitativa do Potencial de Reúso do Efluentes da ETE Martinópolis para o Setor Industrial

Na Tabela 4.9 encontram-se os parâmetros monitorados da ETE Martinópolis em 2006, repetidos para auxiliar na visualização dos dados. Os dados completos estão no capítulo 2 deste trabalho.

De acordo com os dados de monitoramento obtidos, na Tabela 4.10, foram comparados os valores de parâmetros encontrados na ETE Martinópolis com os padrões utilizados para torres de resfriamento pelo Pólo Petroquímico de Mauá (SABESP, 2002), padrões da EPA (2004) para resfriamento com recirculação e os parâmetros da Sabesp (SEMURA et al., 2005). Entretanto, observa-se nessa tabela, que o efluente final da ETE não foi submetidos à todas as análises, não sendo possível a comparação com todos os parâmetros de qualidade requeridos.

TABELA 4.9 – PARÂMETROS DA SAÍDA DO ESGOTO NO SISTEMA DE LAGOAS (2006)

| PARÂMETROS | EFLUENTE | | |
|-------------------------------|-----------|----------|-----------|
| | Máximo | Mínimo | Médio |
| DBO (mg/L) ⁽¹⁾ | 135 | 17 | 58 |
| DQO (mg/L) ⁽¹⁾ | 191 | 80 | 131 |
| SST (mg/L) ⁽¹⁾ | 113 | 16 | 52 |
| SS (mL/L.h) ⁽¹⁾ | 0,20 | 0 | 0,05 |
| pH ⁽¹⁾ | 8,45 | 7,07 | |
| NTK(mg/L) ⁽²⁾ | 40,34 | 20,12 | 29,75 |
| FÓSFORO (mg/L) ⁽²⁾ | 2,18 | 1,30 | 1,72 |
| CTT (mg/L) ⁽²⁾ | 1,75 E+02 | 3,10E+01 | 1,04 E+02 |

FONTE: Adaptado SANEPAR (2006)

¹ Valores monitorados durante os 12 meses de 2006.

² Valores medidos a partir de 4 análises realizadas pela autora.

TABELA 4.10 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ESPECIFICAÇÕES DE QUALIDADE PARA ÁGUA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO DO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ/SP, EPA (2004), SABESP (2002) E A ENCONTRADA NO EFLUENTE DA ETE MARTINÓPOLIS

| PARÂMETROS | VALOR MÉDIO EFLUENTE ETE | LIMITE POLO | ATENDE AO EXIGIDO | LIMITE EPA(2004) | ATENDE | LIMITE SABESP (2002) | ATENDE |
|--|--------------------------|-------------|-------------------|------------------|--------|----------------------|--------|
| Cloretos (Cl) (mg/L) | (1) | 70 | (2) | - | - | 100 | (2) |
| SDT (mg/L) | (1) | 200 | (2) | - | - | 200 | (2) |
| Dureza (CaCO ₃) (mg/L) | (1) | 70 | (2) | - | - | - | (2) |
| Alcalinidade (CaCO ₃) (mg/L) | 135,50 | 50 | não | - | - | 100 | Não |
| pH | 7,0 – 8,6 | 6,5 – 7,5 | não | 6,0 – 9,0 | atende | 6,0 – 9,0 | Atende |
| DQO (mg/L) | 131 | 2 | não | - | não | 2 | Não |
| DBO (mg/L) | 58 mg/L | - | - | 30 mg/L | não | 10 | Não |
| SST (mg/L) | 52 | 2 | não | 30 mg/L | não | 5 | Não |
| Turbidez | (1) | 1 UT | (2) | - | (2) | 2 UT | (2) |
| Cloro livre (mg/L) | (1) | 0,5 – 1 | (2) | 1 mg/L | (2) | 0,5 – 1 | (2) |
| Detergentes (mg/L) | (1) | <1, 0 | (2) | - | - | - | - |
| Fosfato (PO ₄) (mg/L) | (1) | 1,0 | (2) | - | - | 1 | (2) |
| Sílica (SiO ₂) (mg/L) | (1) | 10 | (2) | - | - | 50 | (2) |
| Alumínio (Al) (mg/L) | (1) | 0,3 | (2) | - | - | - | (2) |
| Ferro (Fe) (mg/L) | (1) | 0,3 | (2) | - | - | - | (2) |
| Manganês (Mn) (mg/L) | (1) | 0,1 | (2) | - | - | - | (2) |
| Enxofre (S) (mg/L) | (1) | 0 | (2) | - | - | - | (2) |
| Zinco (Zn) (mg/L) | (1) | 0,1 | (2) | - | - | - | (2) |
| Sulfatos (mg/L) | (1) | 50 | (2) | - | - | 200 | (2) |
| CTT (NMP/ 100 mL) | 175 | - | - | 200 | atende | 0 | não |
| N Amoniacal (mg/L) | 23,78 | - | - | - | - | 1 | não |

(1) Parâmetro não monitorado pela SANEPAR

(2) Sem possibilidade de avaliação devido à inexistência de monitoramento do parâmetro

- Parâmetros não estabelecidos

Nota-se, a partir da Tabela 4.10, que apenas quatro parâmetros da ETE Martinópolis puderam ser avaliados em relação aos limites do Pólo Petroquímico de Mauá, e nenhum deles atende aos requisitos de qualidade do Pólo para uso em torres de resfriamento.

Cabe ressaltar que o grau de qualidade da água a ser utilizada depende diretamente do ramo de atividade da indústria e das atividades desenvolvidas na mesma, sendo que vários tipos de água, com diferentes níveis de qualidade podem ser utilizados por uma mesma indústria.

Em relação às características microbiológicas da água para reúso industrial, o pólo não estabeleceu padrões.

Para a água industrial utilizada pelo pólo em torres de resfriamento foi exigido um padrão de qualidade obtido através do processo de osmose reversa.

Comparados aos padrões físico-químicos da EPA (2004), o efluente da ETE Martinópolis atendeu ao valores de pH, monitorados durante todo o ano de 2006; nos meses de fevereiro, outubro e novembro os valores de $DBO_{5,20}$, atenderam ao limite, entretanto, nos outros meses do ano o parâmetro ficou acima de 30 mg/L. Houve uma concentração maior do que 30 mg/L de SST no efluente da ETE na maior parte das amostras monitoradas, sendo a média mensal de 52 mg/L.

Em relação às características microbiológicas da água para reúso industrial, os teores de coliformes termotolerantes do efluente da ETE Martinópolis mostraram-se adequados para os padrões da EPA (2004).

4.4.3 Das Ações de Reúso

Para o reúso na indústria foram contempladas 3 ações, sendo que em cada uma foi previsto:

- Definição dos Requisitos Técnicos;
- Concepção do Sistema de Distribuição;
- Análise Econômica.

Para atender aos padrões de qualidade pré-estabelecidos neste estudo torna-se

necessário realizar um pós-tratamento da água residuária tratada pela ETE Martinópolis. Contudo, como na indústria há padrões de qualidade específicos para o tipo de uso e setor, recomenda-se que as indústrias internamente adequem o efluente recebido para o uso qualificado, sendo o efluente fornecido com a qualidade especificada na Tabela 4.11.

Para o efluente oriundo da ETE Martinópolis tratado através de lagoas de estabilização, o pós- tratamento sugerido nas três ações é composto por uma unidade de filtração rápida descendente seguido por desinfecção, com hipoclorito de sódio com 10 % de cloro livre e 5 mg/L de cloro.

TABELA 4.11 - EFICIÊNCIA TEÓRICA DAS UNIDADES DE POS- TRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO DA ETE MARTINOPOLIS E QUALIDADE FINAL OBTIDA

| PARÂMETROS | VALOR MÉDIO DO EFLUENTE DA ETE | TRATAMENTO RECOMENDADO E VALOR TEÓRICO MÍNIMO OBTIDO EM CADA ETAPA | | | | | | QUALIDADE DA ÁGUA OBTIDA APÓS O TRATAMENTO |
|---------------------------------------|--------------------------------|--|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--|
| | | Precipitação química | | Filtração | | Desinfecção | | |
| | | Valor Remanescente | % Remoção | Valor Remanescente | % Remoção | Valor Remanescente | % Remoção | |
| pH | 7,8 | - | - | - | - | - | - | 7,8 |
| Odor | Ausente | - | - | - | - | - | - | Ausente |
| Turbidez (UT) | - | - | 50 | - | 50 | - | - | - |
| Sólidos suspensos totais (mg/L) | 52 | 10,4 | 80-90 | 5,2 | 50 | - | - | 5,2 |
| DBO (mg/L) | 58 | 34 | 40-70 | 26 | 25-50 | - | - | 26 |
| NTK(mg/L) | 20,12 | - | - | - | - | - | - | 20,12 |
| Fósforo total (mg/L) | 1,72 | 0,86 | 50 | 0,43 | 50 | - | - | 0,43 |
| CTT (NMP/100mL) | 1,04E+02 | 20 | 80-90 | 10,4 | 50 | 5 | 50 | <14 |
| Helmintos (ovo de nematóide/L) (1) | Ausente | - | - | - | - | - | - | Ausente |

NOTA: Considerado

Com as características esperadas na água após este tratamento é possível nas indústrias a utilização em limpeza de pisos, uso externo e lavagem de veículos.

Após o tratamento sugerido o efluente deverá ser armazenado em um

reservatório, a capacidade sugerida é de 500 m³ ; em função do tempo de atendimento. Está previsto uma estação elevatória com 3 conjuntos moto-bomba e distribuição por adutora até um centro de reservação, bem como foram levantados os custos da distribuição por caminhão-pipa. Este sistema contempla as ações AI 01, AI 02 e AI 03.

A Tabela 4.12, Tabela 4.13 e Tabela 4.14, apresentam os custos para cada ação industrial. Os resultados do levantamento de custos das ações encontram-se nas tabelas seguintes. A Tabela 4.15 apresenta os cálculos do custo de distribuição por caminhão-pipa. Tabela 4.16 apresenta o custo total anual dos sistemas propostos, sendo que os valores foram obtidos com base nos custos de implantação e manutenção/operação para uma vida útil de instalação de 20 anos e uma taxa de retorno do investimento de 10% ao ano.

TABELA 4.12 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 01

| DESCRIÇÃO | CUSTO (US\$) | FONTE |
|------------------------------------|--------------|-------------------|
| <i>Tratamento</i> | | |
| Implantação | 77.047 | Brito (2005) |
| Manutenção e operação | 3.852 | (5%)x Implantação |
| <i>Reservatório</i> | | |
| Implantação | 77.519 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 1550 | (2%)x Implantação |
| <i>EE</i> | | |
| Implantação | 128.682 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 6.434 | (5%)x Implantação |
| <i>Adutora</i> | | |
| Implantação | 238760 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 4775 | (2%)x Implantação |
| <i>Centro de reservação</i> | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |

TABELA 4.13 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 02

| DESCRIÇÃO | CUSTO (US\$) | FONTE |
|-----------------------------|--------------|-------------------|
| Tratamento | | |
| Implantação | 77.047 | Brito (2005) |
| Manutenção e operação | 3.852 | (5%)x Implantação |
| Reservatório | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |
| EE | | |
| Implantação | 128.682 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 6.434 | (5%)x Implantação |
| Adutora | | |
| Implantação | 874.667 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 17493 | (2%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |

TABELA 4.14 – CUSTOS PARA A AÇÃO AI 03

| DESCRIÇÃO | CUSTO (US\$) | FONTE |
|-----------------------------|--------------|-------------------|
| Tratamento | | |
| Implantação | 77.047 | Brito (2005) |
| Manutenção e operação | 3.852 | (5%)x Implantação |
| Reservatório | | |
| | 77.519 | SANEPAR |
| | 1550 | (2%)x Implantação |
| EE | | |
| Implantação | 128.682 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 6.434 | (5%)x Implantação |
| Adutora | | |
| Implantação | 874.667 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 17493 | (2%)x Implantação |
| Centro de reservação | | |
| Implantação | 135.659 | SANEPAR |
| Manutenção e operação | 2.713 | (2%)x Implantação |

TABELA 4.15 - CÁLCULO DO CUSTO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO POR CAMINHÃO-PIPA PARA AS AÇÃO INDUSTRIAIS

| PARÂMETROS | | | | | | | | | | | CUSTO PARA 1 CAMINHÃO | | CUSTO PARA N CAMINHÕES | |
|------------|---------|------------------------------|----------------------------------|------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| AÇÕES | Q (L/s) | Q_n (m ³ /d) | Qd_{cp} (m ³ /d) | N°_{CP} | N°_v | distancia (km) | C _{km} | km _d | C2f (R\$) | Ht (h) | Custo Anual (R\$) | Custo Anual (US\$) | Custo Anual (R\$) | Custo Anual (US\$) |
| AI 01 | 17 | 1468,8 | 115,86 | 13 | 15 | 4,40 | 1,67 | 132 | 24,85 | 6 | 106.428 | 49.802 | 1.383.558 | 647.430 |
| AI 02 | 80 | 6912 | 203,6 | 34 | 26 | 5,60 | 1,67 | 146 | 24,85 | 6 | 113.161 | 52.953 | 3.847.473 | 1.800.408 |
| AI 03 | 27 | 2332,8 | 90 | 26 | 11 | 10,10 | 1,67 | 222 | 24,85 | 6 | 149,714 | 70,058 | 3,892,562 | 1,821,508 |
| AI 01* | 11,57 | 1000 | 115,86 | 9 | 15 | 4,40 | 1,67 | 132 | 24,85 | 6 | 106.428 | 49.802 | 957,848 | 448,221 |
| AI 02* | 11,57 | 1000 | 203,6 | 5 | 26 | 5,60 | 1,67 | 146 | 24,85 | 6 | 113.161 | 52.953 | 565,805 | 264,766 |
| AI 03* | 11,57 | 1000 | 90 | 12 | 11 | 10,10 | 1,67 | 222 | 24,85 | 6 | 149,714 | 70,058 | 1,796,567 | 840,696 |

* Simulação para as ações de uma vazão de 1000 m³/d.

Tabela 4.16 - CUSTO TOTAL ANUAL DOS SISTEMAS PROPOSTOS POR ADUÇÃO

| AÇÕES | CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (US\$) | CUSTO ANUAL DE AMORTIZAÇÃO DO CAPITAL | CUSTO ANUAL EM (US\$) | CUSTO TOTAL ANUAL (US\$) | VAZÃO (l/s) | VAZÃO ANUAL (1000 m ³) | CUSTO TOTAL ANUAL POR 1000m ³ / (US\$/1000 m ³) |
|-------|---------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|--|---|
| AI 01 | 580.148 | 68.143,9 | 17.774,82 | 85.919 | 17 | 529 | 162 |
| AI 02 | 589.450 | 69.236,6 | 17.960,87 | 87.197 | 80 | 2488 | 35 |
| AI 03 | 1.216.056 | 142.837,4 | 30.492,98 | 173.330 | 27 | 840 | 206 |

A ação AI 01 corresponde ao atendimento dos grupos G1, G2 e G3, no que tange ao reúso industrial. A demanda pelas indústrias destes grupos é o equivalente a 17 L/s, sendo o valor aproximado ofertado pela ETE Martinópolis de 80 L/s, desta forma os grupos podem ter toda a sua demanda suprida pelo efluente da ETE.

O sistema de distribuição foi concebido de duas formas. A partir da ETE, o efluente das lagoas passa por um pós-tratamento e reservação, sendo então encaminhado por uma estação elevatória para um reservatório localizado próximo aos grupos. Do reservatório, localizado em um ponto próximo as indústrias, a água de reúso é distribuída por caminhão pipa. A distância da ETE ao ponto de reservação é de 4,4 km. Para a escolha do centro de reservação foram consideradas as cotas, através das curvas de nível da região. O outro sistema é o de distribuição por caminhão-pipa, após o efluente das lagoas de estabilização receberem pós- tratamento.

Da Tabela 4.15 pode-se observar que a vazão diária por caminhão-pipa calculada é maior para a AA 02, isto se deve pelo fato da proximidade da indústria com a ETE, sendo que o caminhão-pipa pode ser abastecido mais vezes.

A ação AI 02 atende o denominado grupo G4, que corresponde a um conglomerado industrial do setor automobilístico.

Este grupo é um caso especial, uma vez que tem uma grande demanda de água, a maior da região, sendo abastecido pela rede pública onde uma ETA capta água do manancial e fornece diretamente para ela. A demanda de água para o G4 é de até 190 L/s, enquanto a oferta do efluente da ETE é de 80 L/s. O custo para esta ação é o mais viável em vista de vários fatores, como a proximidade do grupo com a ETE, cerca de 2 km, diminuindo o custo de distribuição da água de reúso. Entretanto, percebe-se pelos custos na Tabela 4.13 que o transporte por caminhão-pipa não é tão viável quanto a adução da ETE para um reservatório próximo às indústrias.

Da mesma forma que para a ação AI 01, o efluente da ETE deve passar por um tratamento adicional para que possa atender as indústrias dentro de padrões de qualidade.

A Ação AI 03 corresponde ao atendimento das indústrias dos grupos 7 e 8. Todas as indústrias deste grupo possuem outorga da SUDERHSA para captação de água, sendo que a demanda do grupo estimada a partir da vazão outorgada é de aproximadamente 27 L/s. A distância da ETE ao grupo onera os custos de distribuição, mas não inviabiliza o reúso por estes grupos, que tem uma demanda expressiva.

4.5 CONCLUSÕES

1) Verificou-se que há um grande potencial do setor industrial no entorno da ETE Martinópolis para a reutilização das águas residuárias tratadas.

2) Foram identificados três pólos industriais, formados pelo agrupamento de indústrias como possíveis usuários da água de reúso ofertada.

3) Há a necessidade da realização de um tratamento no efluente, para que este possa se adequar as necessidades qualitativas da indústria, ao uso pretendido.

4) Nos processos industriais, cuidados especiais devem ser adotados caso algum parâmetro de qualidade esteja em desacordo com a qualidade requerida. Por isso, é necessário adotar uma barreira adicional na própria dependência da unidade industrial. Caso a qualidade bacteriológica não esteja dentro dos padrões recomendados para a maioria das indústrias usuárias do efluente, seria apropriada a adoção de um sistema de desinfecção na própria ETE fornecedora do efluente.

5) O interesse por parte das indústrias pelo efluente tratado se mostrou baixo, com exceção de algumas delas. As indústrias, de modo geral, se interessam pelo reúso interno (reciclagem), devendo ser este um passo anterior ao da aquisição de água de reúso.

6) O reúso de água traz benefícios ambientais, economizando água do manancial e disponibilizando-a para outros fins. Para a indústria, além das vantagens de diminuir o custo de produção pela redução do consumo de água e economia de energia, o reúso também reduz o custo do tratamento do efluente que seria descartado.

5 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Este último capítulo do trabalho aborda as principais conclusões obtidas nos capítulos anteriores bem como recomendações para pesquisas futuras.

1) De forma geral, o reúso agrícola se mostrou mais viável em diversos aspectos:

- Qualidade do efluente

O efluente da ETE Martinópolis é predominantemente doméstico e o sistema de tratamento ao qual o efluente é submetido, lagoas de estabilização, caracteriza a água com padrões de qualidade compatíveis com a utilização na agricultura. Para a utilização no setor urbano e industrial há a necessidade de tratamentos adicionais para adequar o efluente ao grau de qualidade requerido.

- Caracterização dos Usuários

Na caracterização dos usuários: agrícola, urbano e industrial, o setor agrícola se mostrou mais qualificado em relação oferta/demanda, pois, a demanda pelo setor absorveria toda a oferta de efluentes e em relação a necessidade de água este setor apresentou ser o mais prejudicado.

- Distribuição

A localização da ETE Martinópolis, numa região predominantemente agrícola no município também contribui para o potencial de reúso deste setor. O trabalho mostrou que o transporte de água de reúso por caminhões-pipa frente a distribuição por rede dupla é maior tanto em relação aos custos, sendo a distribuição por caminhão-pipa mais viável economicamente, quanto em termos práticos e de segurança. Foram levantados os custos da adução do efluente tratado até reservatórios, sendo daí distribuídos via caminhão ou por rede dupla. A distribuição através de caminhão-pipa pode ser implementada a curto-prazo, com frota terceirizada, já a distribuição através de rede dupla requer implantação de infraestrutura que tem um prazo maior.

- Custos

Enquanto o reuso agrícola requer tratamento secundário com preservação dos nutrientes, não sendo necessário tratamento adicional para o efluente para este fim, o reuso industrial exige tratamento terciário com remoção dos nutrientes, sendo que o tratamento em nível terciário tem um custo muito mais elevado.

2) A ação industrial 02, relativa ao abastecimento de um complexo industrial muito próximo a ETE Martinópolis, ficaria em primeiro lugar na priorização das ações de reúso contempladas neste estudo, entretanto, como a empresa é abastecida através ETA do Rio Pequeno, especialmente construída para ela, a princípio não haveria interesse pelo efluente da ETE Martinópolis.

3) No que diz respeito aos aspectos ambientais, a utilização da água residuária da ETE, pela montadora, traria benefícios como a disponibilização da água captada pela ETA do Rio Pequeno para outros fins, bem como evitaria o descarte do efluente da ETE no Rio Itaquí.

4) A utilização da água residuária tratada no setor urbano do município de São José dos Pinhais é viável e pode ser implementada a curto prazo, principalmente no que diz respeito a rega de canteiros públicos e lavagem de ruas. Contudo, a demanda para este fim é pequena no município.

Recomendações:

1) Em relação ao reúso agrícola os sistemas de irrigação por aspersão devem ser substituídos por sistemas de irrigação por gotejamento, pois na irrigação por aspersão a água se deposita na parte aérea das plantas, aumentando o risco de contaminação. O sistema por gotejamento diminui a possibilidade de contaminação das plantas, sendo recomendado, nestes casos, principalmente os sistemas montados para efetuar a irrigação subsuperficial que apresenta o menor risco, com manejo adequado, evitando a contaminação das folhas e minimizando a contaminação do solo. No entanto, o efluente deve apresentar menor concentração de sólidos que os encontrados na ETE.

2) Para o uso seguro na agricultura, devem ser monitoradas a condutividade no solo e a sodicidade, bem como analisados periodicamente uma gama maior de parâmetros para a caracterização do efluente.

3) Em vista da importância dos impactos no setor de saúde pública, recomenda-se que sejam realizadas análises dos parâmetros dos efluentes domésticos tratados utilizados na agricultura, e a sua utilização constantemente monitorada. Trabalhadores que entrem diretamente em contato com a água de reúso devem utilizar equipamentos de proteção apropriados.

4) É necessário que um programa de gestão dos recursos hídricos que contemple a reutilização de águas residuárias tratadas seja implementado. O desenvolvimento de atividades de educação ambiental para as comunidades que utilizam a reutilização de águas residuárias de forma não planejada também é necessário para evitar o uso inadequado da água.

5) Para o desenvolvimento de futuros estudos e projetos, é importante abordar, entre outros aspectos, o interesse da Companhia de Saneamento e dos usuários, a logística de distribuição, requerimentos dos órgãos de meio ambiente e de saúde pública, e ainda, a percepção e envolvimento da população diretamente afetada, sendo importante a realização de um seminário anterior aos projetos.

6 REFERÊNCIAS

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Reúso da água**. São Paulo: ABES, 1992.

AEMA. **Sustainable water use in Europe**. Part 2: Demand management. n. 19. Environmental issue report. European Environment Agency, 2001. Disponível em: <http://www.eea.eu.int/> Acesso em: 10 jul. 2006

ALVAREZ, H R. **Estudio de caso VII – El Valle del Mezquital, México**. In: HELMER, Richard; HESPANHOL, Ivanildo. Control de La Contaminación Del Agua – Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua. 1.ed. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS, 1999.

ANDREOLI, C.V.; DALARMI, O.; LARA, A.I.; ANDREOLI, F.N. Limites ao desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000. **Anais...** Porto Seguro: ABES, 2000.

ANGELAKIS, A. N.; KOUTSOYIANNIS, D.; TCHOBANOGLIOUS, G. Urban wastewater and stormwater technologies in Ancient Greece. **Water Research**. n. 39, p. 210–220, 2005.

ANGELAKIS A. N, BONTOUX L. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. **Water Policy**, 2001, 3: 47-59.

ANGELAKIS, A.N.; MONTE, H.F.M.; BONTOUX, L.; ASANO, L. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean Basin: Need For guidelines. **Water Research**. v. 33, n. 10, p. 2201-2217, 1999.

ARAÚJO, A Tenente do 22º Batalhão do Corpo de Bombeiros . Comunicação de caráter pessoal –2006

ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse**, Water quality management library. Thecnomic Publishing Co. Inc.: Lancaster, PA v. 10, 1998.

ASANO, T. **Waste water reuse for non-potable applications**. UNEP (United Nations Enviroment Programme) Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/reportseries>>, 1998. (a)

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Science and Technology**. v. 33, n. 10-11, p. 1-14, 1996.

ASANO, T; MILLS, R. A. Planning and analysis for water reuse projects. **Jornal of Water Works Association**. P. 38-47. 1.990.

ASSIRATI, D.M. **Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola**. Campinas, 2005. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Área de Concentração de Saneamento e Ambiente. Universidade Estadual de Campinas.

AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzido por H.R. Greye e J.F. de Medeiros. Campina Grande – PB: UFPB / PRAI / CCT, 1991, 218p.

BAHRI, A. **Wastewater reclamation and reuse in Tunisia**. In: ASANO, Takashi. Water quality management library – v. 10 / Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

BASTOS, K. X. B.; BEVILACQUA P. D. Utilização de esgotos sanitários: riscos à saúde humana e animal. In: Workshop Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas. **Anais...** Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005.

BASTOS, R.K.X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. 2003.

BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: Ibama, 1996.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa : UFV, 1995. 657p.

BONTOUX, L. **The Regulatory status of wastewater reuse in the European Union**. In: ASANO, Takashi. Water quality management library – v. 10 / Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 125 - 174.

BRANDAO, L. P. ; MOTA, S. ; MAIA, L. F. . Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória, ES. **Anais...** Rio de Janeiro : ABES, 2002.

BRITO, L. P. **Reutilización de agua residual depurada**. Natal-RN: PPGES/UFRN (Edição em Meio Digital CD/ROM), 2006. v. 001. 212 p.

BRITO, L. P.; TINÔCO, J. D.; COSTA, C. G.; LIMA, A. D.; FIGUEIRÊDO, L. R. Análise comparativa de custos no reúso urbano de esgoto tratado com emprego de sistemas de irrigação por aspersão e manual: Serra Negra do Norte/RN – Um Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005. **Anais...** Rio de Janeiro:ABES, 2005.

CAVALCANTI, P.F.F.; ADRIANUS VAN HAANDEL, A.; VON SPERLING, M.; KATO, M.T.; LUDUVICE, M.L.; MONTEGGIA, L.O.. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de trabalhos técnicos**, v. 2. Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte, 2001.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília, DF. Fevereiro / 2006. Disponível em: <URL: <http://www.pt.genderanwater.org>>. Acesso em: 16 jun. 2006

COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. **Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba- PDI**. Governo do Estado do Paraná. Curitiba: 2001.

CNA - Comisión Nacional del Agua. **Programa nacional de regulación del reuso del agua, 2002**. Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua. Disponível em: <http://www.cna.gob.mx> . Acesso em 10 jul. 2006

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução **CNRH nº 054, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não-potável de água. Disponível em: <URL: <http://www.cnrh-srh.gov.br/>>. Acesso em: 07 dez. 2005

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005.

CROOK, J. Critérios de qualidade da água para reúso. Tradução de: Hilton Felício dos Santos. **Revista DAE**, São Paulo, n. 174, v. 53 nov. – dez., p.10-18,1993. Original em inglês.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF FLORIDA (2003). <http://www.dep.state.fl.us/water/> Acesso em: 10 jul. 2006

DI BERNARDO, L., (org.). Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Projeto PROSAB 3, Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003.

CLESCERI, L. S., GREENBERG, A. E., EATON, A. D.(eds) **Standard methods for the examination of water and wastewater**. AWWA/APHA/WEF, 20th ed. 2000.

EMATER **Perfil da realidade agrícola do município em 2005**. Relatório interno. Escritório Regional de São José dos Pinhais, 2006.

ENGEVIX; LATIN CONSULT. **Revisão e atualização do plano diretor de esgotos da RMSP**. São Paulo, SABESP, 2000.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse. EPA/625/R-04/108**, Washington, DC, september, 2004.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Water conservation plan guidelines**. EPA-832-D-98-001, Washington, DC, 1998.

ESCALANTE, V., CARDOSO, L. ; RAMIREZ, E. ; MOELLER, G. ; MANTILLA, G. ; MONTECILLOS, J.; SERVIN, C.; VILLAVICENCIO, F. El Reúso del agua residual tratada en Mexico. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE MÉTODOS NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2003. Universidade del Valle/ Insituto Cinara, 2003.Cali Colombia p. 230-236

FELIZATTO M. R. ETE Cagif: projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES, n.21, 2001, João Pessoa-PB.

FIRKOWSKI, O. L. C. de F. A nova lógica de localização industrial no aglomerado metropolitano de Curitiba. **R. Paranaense. Desenvolvimento**, Curitiba, n. 103, p. 79-100, jul./dez. 2002

FIRKOWSKI, O. L. C. de F . **Os desafios da gestão metropolitana em Curitiba**, 2000. Disponível em:
<<http://sitemason.vanderbilt.edu/files/grJN84/Firkowski%20Olga%20Lcia%20Castreghini%20de%20Freitas.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2005.

FLORIO, E.; SANTOS, G. J. dos ; BARBIRATO JUNIOR, L. ; SACAMOTO, Y. Programa piloto de utilização de água de reúso pelo setor de transportes localizado na zona norte da região metropolitana de São Paulo. XXVIII In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., Cancun, México, 2002

FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, A. S. ; GONÇALVES, R. A. B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: WORKSHOP USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADES E PERSPECTIVAS. **Anais...** Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005

FRANCISCO, W. **Matemática financeira**. 7ed. São Paulo: Atlas, 1991. 319p.

GALAN, J. **México, el segundo país que más aguas negras reutiliza para riego**. LA JORNADA. Disponível em: < [http://www. http://www.jornada.unam.mx](http://www.jornada.unam.mx)>. 26 de febrero de 2006 Acesso em: 25 ago 2006.

GOHRINGER, S. **Uso urbano não potável de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitário. Estudo de caso: Município de Campo Largo – PR**. Curitiba, 2006. 216 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) Gestão Urbana. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

GIORDANI, S. **Averiguações das possibilidades de reúso de efluentes domésticos tratados nas bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira – Região de Curitiba**. Curitiba, 2002. 201 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Hidráulica) Universidade Federal do Paraná.

GOMES, H.P. **Sistema de abastecimento de água: Dimensionamento Econômico e Operação de redes e elevatórias**. 2.ed. 242 p. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2004.

GONÇALVES, R.F. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia**. ABES, RiMa, 2003. 438 p

HARDT, L. P. A. (Coord.). **Relatório de impacto ambiental (RIMA) do Distrito Industrial de São José dos Pinhais**. Curitiba: UNILIVRE, 1996

HASSLER, M. As unidades de conservação no âmbito do Estado do Paraná **Caminhos de Geografia** 7(15)62-72, Jun/2005

HESPAANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 37 - 96.

HESPAÑOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75 - 95, 2002.

IPARDES. **Caderno estatístico do município de São José dos Pinhais**, CURITIBA, 2006

IRWD - Irvine Ranch Water District, 2003. Disponível em: <http://www.irwd.com>
Acesso em: 10 jul. 2006

JIMENEZ, B. E. Riego agrícola con agua residual y sus implicaciones en la salud. Caso práctico. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIARIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28. **Anais...** Cancun, México, 27 a 31 de octubre, 2002

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4.ed., 906 p. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KLISIEWICZ, E. L. **Nível de barragens em Curitiba bate novo recorde negativo**. GAZETA DO POVO ONLINE, 2006. Disponível em: < <http://www.gazetadopovo.com.br> >. Acesso em: 25 ago 2006.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L.F. dos; HASSEMER, M.E.N.; AISSE, M.M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In: GONÇALVES, R.F. (Org.). **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003, v. 1, p. 169-208.

LÉON, S.G., CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 151p.

LEWIN, M. **Enhancing and maintaining water quality for metropolises**. COMMISSION'S REPORT . World Association of the Major Metropolises, 2002. Disponível em: < www.metropolis.org > . Acesso em: 05 set. 2006.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.;CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. ESTADO das Águas no Brasil – 1999: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos, SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA, 1999. p. 73-82

LIMA, S. M. S. ; CEBALLOS, B. S. O. de; HENRIQUE, I. N.. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 9. p 21-25. Campina Grande – PB, 2005.

MACHADO, I. Funcionário da Secretaria de Viação e Obras Públicas. Comunicação de caráter pessoal -2006.

MALINOWSKY, A. **Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano**. Curitiba, 2006. 221 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MANCUSO, P. C. S. **Reúso de água para torres de resfriamento**. Biblioteca Virtual da FSP USP, 2002.

MANCUSO, P. C. S. Tecnologia de reúso da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. p. 291 - 338.

MARQUES, M. O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE NETO, C. O. de; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; BELLINGIERI, P. H.; HAANDEL, A. V. Uso de esgotos tratados em irrigação, aspectos agrônômicos e ambientais – In: UTILIZAÇÃO DE ESGOTOS TRATADOS EM FERTIRRIGAÇÃO, HIDROPONIA E PISCICULTURA. Rafael K. Xavier Bastos (coordenador) – Rio de Janeiro: 267p.:il Projeto PROSAB, 2003

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Irrigação por aspersão em hortaliças/Qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. Embrapa Informações Tecnológicas/Brasília, DF, 2001, 111p.

MATTIO, J. A. Reúso de água industrial – oxidação avançada no tratamento de efluentes líquidos – **Revista Meio Ambiente Industrial** p 130-134 , 2001.

METCALF ; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment And Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MICHELETTI, WALDIR. Técnico da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São José dos Pinhais. Comunicações de caráter pessoal -2006.

MIERZWA, J C.; HESPANHOL, I.. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando ao uso racional e à reutilização, **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES**, v. 4, n. 1/2 Jan/Mar. e Abr/Jun., 2000, p. 11 - 15.

MIERZWA, J.C. O Uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – Estudo de caso Kodak Brasileira. 2002. 2v. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

NÓRCIO, L. **Estiagem leva Defesa Civil a decretar estado de emergência em 42 municípios do Paraná.** AGENCIA BRASIL. Disponível em: <www.agenciabrasil.gov.br/radiobras> Acesso em 20 jul.2006.

ODENDAAL, P.E., et al. Wastewater reuse in South Africa. **Wastewater Reclamation and Reuse**. T. Asano (Ed.), Water Quality Management Library v. 10, Technomics Publishing, 1998.

OGOSHI M., Suzuki, Y.; Asano, T. Water reuse in Japan. **Water science e technology**. v. 43 n. 10. p. 17-23, 2001.

OLIVEIRA, Rubens Alves de ; CAMPELO, P. L. G. ; MATOS, A. T. ; MARTINEZ, M. A. ; CECON, P. R. . Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000

PAGANINI, W. da S. **Disposição de esgotos no solo (escoamento à superfície).** São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 232 p., 1997.

PAGANINI, W. da S. Reúso da água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 339 - 402.

PIMENTEL, J.S. **Tratamento físico-químico de esgotos e reúso do efluente-Cada idéia tem seu tempo**, 2004. Disponível em: < www.ambientaldobrasil.com.br/forum/arquivos/841tratamento.pdf> Acesso em 14 mar.2005

QWRS. Queensland Water Recycling Strategy. **The Environmental Protection Agency and the Queensland Parks and Wildlife Service**, 2000 Disponível em : <<http://www.epa.qld.gov.au/environment/environment>>. Acesso em 09 jun.2006

RAJALA, R. L., et al. Removal of microbes from municipal wastewater effluent by rapid sand filtration and subsequent UV irradiation. **Water Science and Technology**, v. 47, n.3, p. 157-162, 2003.

REBOUÇAS A. DA C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS A.C., BRAGA B. E TUNDISI J.G. (organ). **Águas do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora; 2002, 2. ed. p. 1- 36.

RELATÓRIO PLANO MATA VIVA, 2006. Relatório. Disponível em: < www.bombeiroscascavel.com.br> Acesso em 16/02/2007.

RIBEIRO, M. de F. S. et al. Métodos e técnicas de diagnóstico de sistemas de produção. In: ENFOQUE SISTÊMICO EM PED. A experiência metodológica do IAPAR. Londrina: IAPAR, 1997. p 55 - 79. (IAPAR. Circular, 97).

ROSSINI, J. B. Manejo da água na irrigação da alfafa num latossolo vermelho amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.4, p. 503 - 507, 2002.

SABESP e CH2MHill, **Relatório estabelecimento de diretrizes técnicas, econômicas e institucionais e de programa de ação para implementação de sistema de água de reúso na RMSP**, São Paulo, 2002.

SANEPAR. **Boletim anual de controle operacional da ETE Martinópolis- USEG** . Relatório Interno, 2006

SANTOS, D.C, MALINOWSKI, A. Aplicação da metodologia do programa de conservação de água no meio urbano enfocando o reúso da água. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v.3, n.2, p. 55-62, abr./jun. 2005.

SANTOS, H. F. Custos dos sistemas de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. 1.ed. Barueri: Manole, 2003.

SEMURA, K; RICCITELLI, M; GONÇALVES, M. C. Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETES da RMSP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005.

SILVA, A. C. da C., FLORIO, E. R. de A. Experiência da Sabesp em reúso In: WORKSHOP USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADES PERSPECTIVAS. **Anais...** Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005

SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.) **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.v.10, n.1, p.89-96. Campina Grande, PB, 2005.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Cadastro dos Usuários dos Recursos Hídricos Outorgados no Município de São José dos Pinhais**. Curitiba, 2006. CD - ROM.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Cadastro dos Usuários dos Recursos Hídricos nas Bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira**: Curitiba, 2006. CD - ROM.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Plano de despoluição hídrica da Bacia do Alto Iguaçu**. v. 1 Síntese. CH2M HILL DO BRASIL SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA. Dezembro/2000

SYDNEY WATER. **Rouse Hill – Recycled water plant**, 2004. Disponível em: <<http://www.sydneywater.com.au>> Acesso em 09 jun.2006

TONKOVIC, Z. AND JEFFCOAT, S. Wastewater reclamation for use in snow-making within an Alpine Resort in Australia- **Waste, Water Science and Technology**, v.46, n..6-7, p. 297-302, 2002.

TOZE, R. Reuse of effluent water – benefits and risks. **Agricultural Water Management**, 80 [Special Issue on Water Scarcity: Challenges and Opportunities for Crop Science] n. 1-3 p. 147-159, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 2ª edição, São Paulo, 2005.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IEE, 2003.

VOMERO, M.F.; ANGELO, C.; MELLO, M. A Era da falta d'água. **Super Interessante**. São Paulo, ano 14. n. 7. p. 48-54. jul / 2000.

VAN HAANDEL, A. C. Tratamento de água residuárias para diversos fins. In: WORKSHOP USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADES E PERSPECTIVAS. **Anais...** Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005.

VITTORATO, E; PALUDETTO SILVA, J.O. **Reúso de água na indústria**. Informativo CRQ/IV, abril de 2004.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lagoas de estabilização**. 2. ed. v. 3. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture.** Disponível em: http://www.int/water_sanitation_health/wastewater/wastreusexecsum.pdf. Acesso em out 2006

WHO - World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Report of a WHO Scientific Group: Technical Report Series N167 778. Genebra, Suíça; 1989.

YOVAL, J. L., MISSET, J.C. Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reúso em la agricultura. In: CONGRESSO INTERMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...** San Juan 22-27 de agosto de 2004.

ZORDAN, S. E. **Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos.** São Paulo, 2003. 464 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.